AVANÇOS NA AGRICULTURA SUSTENTÁVEL

ORGANIZADORES

CLEBERTON CORREIA SANTOS
HENRIQUE LUNARDI DOS SANTOS
LUIZ OTÁVIO MONTERA MARTINS

Editora Poisson

1 VOLUME

Cleberton Correia Santos
Henrique Lunardi dos Santos
Luiz Otávio Montera Martins
(Organizadores)

Avanços na agricultura sustentável

Volume 1

1ª Edição

Belo Horizonte
Editora Poisson
2024

Editor Chefe: Dr. Darly Fernando Andrade

Conselho Editorial
Dr. Antônio Artur de Souza – Universidade Federal de Minas Gerais
MSc. Davilson Eduardo Andrade
Dra. Elizângela de Jesus Oliveira – Universidade Federal do Amazonas
MSc. Fabiane dos Santos
Dr. José Eduardo Ferreira Lopes – Universidade Federal de Uberlândia
Dr. Otaviano Francisco Neves – Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais
Dr. Luiz Cláudio de Lima – Universidade FUMEC
Dr. Nelson Ferreira Filho – Faculdades Kennedy
MSc. Valdiney Alves de Oliveira – Universidade Federal de Uberlândia

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

A957

Avanços na agricultura sustentável- Volume 1/
Organização: Cleberton Correia Santos;
Henrique Lunardi dos Santos; Luiz Otávio
Montera Martins - Belo Horizonte - MG: Editora
Poisson, 2024

Formato: PDF
ISBN: 978-65-5866-450-5
DOI: 10.36229/978-65-5866-450-5

Modo de acesso: World Wide Web
Inclui bibliografia

1. Agricultura 2. Meio Ambiente 3. Ciências Agrárias I. SANTOS, Cleberton Correia; II. SANTOS, Henrique Lunardi dos; III. MARTINS, Luiz Otávio Montera IV. Título.

CDD-631.58

Sônia Márcia Soares de Moura - CRB 6/1896

O conteúdo deste livro está licenciado sob a Licença de Atribuição Creative Commons 4.0.
Com ela é permitido compartilhar o livro, devendo ser dado o devido crédito, não podendo ser utilizado para fins comerciais e nem ser alterado.

O conteúdo dos artigos e seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva dos seus respectivos autores.

Esse e outros títulos podem ser baixados gratuitamente em www.poisson.com.br
Entre em contato pelo contato@poisson.com.br

SUMÁRIO

Capítulo 1: Nutrient accumulation of sorghum in regrowth, under planting system and potassium levels..... 06

Patrícia Ribeiro Maia, Jessivaldo Rodrigues Galvão, Matheus Vinícius da Costa Pantoja, Maria Isabel Castro Zambrano, Pedro Lucas Magno Bulhões, Caroline Corrêa Brito, Carlos Antônio Marinho Mendonça Oliveira, Giselly Carime Diniz Melo

DOI: 10.36229/978-65-5866-450-5.CAP.01

Capítulo 2: Apontamentos sobre a tecnologia de aplicação de agentes de controle biológico..... 19

Neder Henrique Martinez Blanco, Cristiane Gonçalves de Mendonça, Felipe André Sganzerla Graichen

DOI: 10.36229/978-65-5866-450-5.CAP.02

Capítulo 3: Brusone do trigo: mecanismos fisiológicos das plantas de trigo sob efeito de zinco..... 28

Cristiano Moreira, Roseline da Silva Coêlho, Felipe André Sganzerla Graichen

DOI: 10.36229/978-65-5866-450-5.CAP.03

Capítulo 4: Sorgo granífero: sua importância e seus usos..... 49

Iasmin Marrony Damasceno Reis, Isadora Cristina Martins Oliveira, Valeria Aparecida Vieira Queiroz, Cicero Beserra de Menezes

DOI: 10.36229/978-65-5866-450-5.CAP.04

Capítulo 5: O uso de IoT para o monitoramento remoto de temperatura e umidade em silos..... 61

Laura Negreiros Naves, Gustavo Post Sabin

DOI: 10.36229/978-65-5866-450-5.CAP.05

Capítulo 6: Desafios e perspectivas do posicionamento de glufosinato sal de amônio na dessecação pré-colheita da soja..... 80

Rafael Pessoni Pereira Nascimento Borges, Paulo Vinicius da Silva, Guilherme Pereira da Silva, Nayane Soares França, Lucas Maraus Marostica, Oscar Xavier Zanchet, Heitor Nunes Santana, Pedro Antônio Vougodo Salmazo

DOI: 10.36229/978-65-5866-450-5.CAP.06

SUMÁRIO

Capítulo 7: Perspectivas futuras do manejo de plantas daninhas na cultura da mandioca (*Manihot esculenta* Crantz)..... 89

Lucas Maraus Marostica, Paulo Vinicius da Silva, Rafael Pessoni Pereira Nascimento Borges, Isabela Tognon Pereira, Nayane Soares França, Pedro Antonio Vougodo Salmazo, Guilherme Pereira da Silva, João Pedro Assis Ozório

DOI: 10.36229/978-65-5866-450-5.CAP.07

Capítulo 8: Nanotecnologia na agricultura: como o cobre está revolucionando o controle de pragas e doenças fúngicas..... 98

Paulo Cesar Rodrigues

DOI: 10.36229/978-65-5866-450-5.CAP.08

Capítulo 9: Importância e dificuldades no controle de *Conyza spp*., na pré-semeadura da soja no estado do Mato Grosso do Sul: uso de pré-emergentes e *carryover* 114

Pedro Antonio Vougodo Salmazo, Paulo Vinicius da Silva, Guilherme Pereira da Silva, Gabriel Pereira Silva, Oscar Xavier Zanchet, Bruna Ferrari Schedenffeldt, Heitor Nunes Santana, José Thiago Souza Battaglin

DOI: 10.36229/978-65-5866-450-5.CAP.09

Capítulo 10: Perspectivas e uso de associações entre herbicidas inibidores da ACCase e latifolicidas na cultura da soja..... 124

Lucas Maraus Marostica, Paulo Vinicius da Silva, Isabela Tognon Pereira, João Pedro Assis Ozório, Oscar Xavier Zanchet, Gabriel Pereira Silva, Estefani Kariane Oliveira, Fabio Eduardo Wagner

DOI: 10.36229/978-65-5866-450-5.CAP.10

Capítulo 11: Sustentabilidade de uma Unidade da Agricultura Familiar no município de Colíder - MT 131

Steffany Santos Souto da Silva, Cleberton Correia Santos, José Otavio dos Santos Mantovani, Edson Mantovani, Henrique Lunardi dos Santos

DOI: 10.36229/978-65-5866-450-5.CAP.11

Autores:..... 148

Capítulo 1

Nutrient accumulation of sorghum in regrowth, under planting system and potassium levels

Patrícia Ribeiro Maia
Jessivaldo Rodrigues Galvão
Matheus Vinícius da Costa Pantoja
Maria Isabel Castro Zambrano
Pedro Lucas Magno Bulhoes
Caroline Corrêa Brito
Carlos Antônio Marinho Mendonça Oliveira
Giselly Carime Diniz Melo

Abstract: Sorghum stands out as a promising feed option for ruminants in the semi-arid regions of northeastern Brazil, due to its water efficiency and adaptability to drought, as well as its low need for fertilizers. Used as fodder, through grazing, green cutting and silage, sorghum meets demands during the summer. The aim of this study is to evaluate the response of different sorghum hybrids to cuttings, in different soil management systems, in order to improve understanding of nutrient absorption and plant productivity. The sorghum hybrids tested include Volumax (medium-cycle forage), the dual-purpose AG 2005-E (forage and grain) and Qualimax (medium-cycle grain). Potassium fertilization was adjusted according to the treatments, and nitrogen fertilization was applied in two stages. Phosphate fertilization was applied at planting. The results indicate that Volumax showed high production potential, with the greatest height in both management systems, as well as the greatest stalk diameter, simultaneously with Qualimax. Adequate fertilization promoted satisfactory sorghum growth, and Volumax stood out in terms of aerial dry matter (ASM) production in the grazing system, while both Volumax and Qualimax obtained higher ASM production in the green cutting system. It is recommended that sorghum be used to recover areas due to its high nutrient cycling.

Keywords: No-till farming. Pasture recovery. Soil degradation.

1. INTRODUCTION

Sorghum has great potential for use in feeding small and large ruminants, especially in the semi-arid regions of northeastern Brazil. As a forage crop, in addition to being used in various ways, such as grazing, green cutting and silage, this crop has been meeting the need during the summer, as it has good water efficiency and drought adaptability, as well as low fertilizer requirements. The crop adapts to the silage process due to its phenological characteristics, which make it easy to sow, handle, harvest and store, along with its high nutritional value. Its grains are an important source of energy in monogastric and ruminant diets, as well as being used for human consumption in the form of cakes, cookies, among others (Santos et al., 2007; Botelho et al., 2010; Cunha & Lima, 2010; Albuquerque et al., 2013; Perazzo et al., 2013; Silva et al., 2016).

A great advantage of sorghum is the ability of the ratoons to sprout after harvesting the grains or the aerial part of the plants. Sorghum regrowth is possible after cutting the original crop, if there is adequate fertility, humidity and temperature (Foloni et al. 2008). Cutting management aimed at taking advantage of sorghum plant regrowth has a significant effect on mass production, making it necessary to study the best management alternatives to maximize productivity (Santos et al., 2009). Contemporary concepts in breeding programs aim to make the most of the sorghum gene pool, seeking to select materials with quality stems and leaves in order to increase the plant's nutritional value.

Dual-purpose sorghum hybrids are the most widely planted with the aim of producing silage with high nutritional value. Volumax, one of these dual-purpose hybrids, has been included in most studies evaluating the productive potential of forage sorghum (Skonieski et al., 2010; Macedo et al., 2012, Veriato et al., 2018; Simões et al., 2022). Volumax is very responsive to improving the soil's physical and chemical properties, has great production potential, a medium cycle, and around 110 to 120 days after sowing the plants are at the phenological stage and with the recommended moisture content for cutting and silage. The Volumax panicle is semi-compact, with reddish grains and low tannin content. Plant height, from the ground to the tip of the panicle, ranges from 2.70 to 2.80 m and Volumax is insensitive to the nictoperiod (Oliveira et al., 2007b; Skonieski et al., 2010; Paula, 2016; Oliveira et al., 2019).

Land preparation and the use of cover crops are important practices in farming systems. With farmers' growing interest in increasing profitability and improving the quality of life in rural areas, there is a need to generate information on the physical quality of soils, as well as maintaining their productive capacity over the long term (Cunha et al, 2011).

The implementation of agricultural and/or forestry activities has resulted in changes to the original vegetation cover of a large part of the Brazilian territory. Some natural ecosystems, such as the Cerrado and the Amazon forests, have lost their primordial character, giving way to these agricultural activities. These changes and the inappropriate use of the soil lead to the degradation of natural resources and soil quality in terms of its physical, chemical and biological properties. (Rojas et al., 2016) The opening up of new areas in the Amazon for agriculture implies a significant reduction in the content of organic matter deposited in the surface layers, causing negative changes in the availability of nutrients, which, associated with inadequate soil management, decreases crop productivity over time. (Moline; Coutinho, 2015) In view of this, it is clear that it is essential to develop agricultural systems that are suitable for improving and recovering these resources, thus seeking to develop sustainable technologies focused on productive

aspects. Semi-arid soils generally show a decline in their natural fertility and this situation intensifies with the clearing of vegetation to establish agricultural systems (Lira, 2012).

After the removal of the natural forest and the establishment of new crops, various agents such as: the initial fertility of the soil, the chemical behavior of each nutrient, their interactions with the environment, the crop introduced, as well as the management and crop treatments adopted act with greater intensity on the chemical properties of the soil. Only when the quality of soil, water, air and food is maintained or improved, and changes in soil quality can be determined, can soil management be considered sustainable (Imbana et al, 2021). With this in mind, the objective was to verify the response of sorghum hybrids subjected to cutting in different soil management systems, allowing us to improve our understanding of the plant's response in relation to nutrient absorption and productivity.

2. MATERIAL AND METHODS

The research was carried out in the area of the Institute of Agrarian Sciences (ICA) of the Federal Rural University of Amazonia, in a two-year experiment, in the municipality of Belém-PA, which has geographical coordinates of 48º 26'28" Greenwich west longitude and 01º27'9" south latitude. The area had not been cultivated for over 30 years. According to the Köppen classification, the predominant climate in the region is Afi with an average annual temperature of 26°C, with high rainfall, averaging 2,754.4 mm per year. The period of intense rainfall begins in December and lasts until April, decreasing in May until November, however, the presence of rainfall s permanent (Mendonza & Mota, 2018).

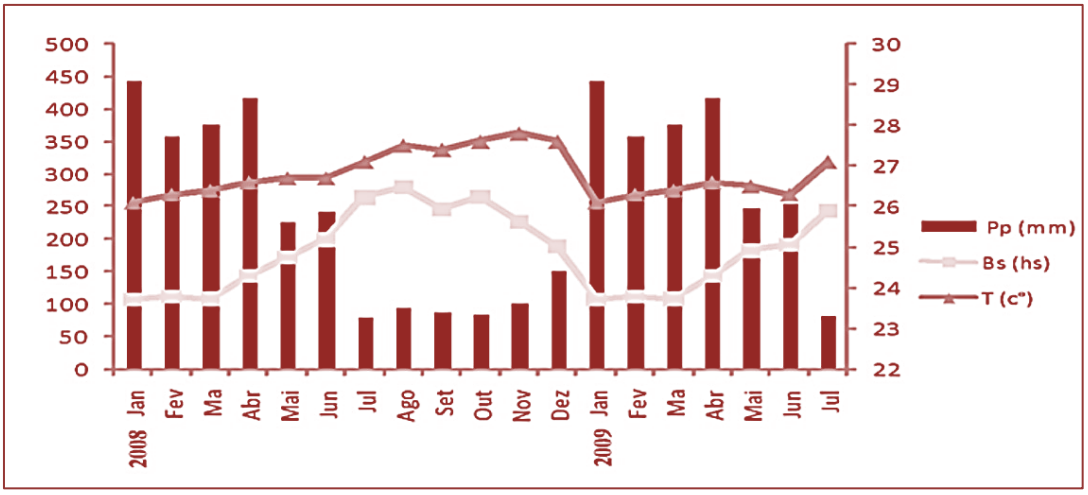
The soil in the experimental area was classified as dystrophic Yellow Latosol, according to the Brazilian Soil Classification System (EMBRAPA, 2006). In the study area (900 m^2), soil samples were collected at depths of 0 to 0.1 and 0.1 to 0.2 m and submitted for chemical analysis according to the methodology proposed by Raij et al. (2001). The results of the chemical and granulometric analyses are described in Table 1. The soil analysis indicated high values for phosphorus content, which may be associated with the fertilization with natural phosphate carried out in previous experiments.

Table 1. Chemical and physical attributes of a medium-textured dystrophic yellow latosol (0.0-0.1 and 0.1-0.2 m layers) before the experiment was set up

Depth	pH	P	K	Ca	Mg	Al	V	MO	Coarse sand	Fine sand	Silt	Clay
(m)	H20	mg dm^3		$mmol_c dm^{-3}$		%			g Kg^1			
0,0-0,1	4,8	65,7	0,4	2,0	11	8,9	8,9	14	477	336	91	96
0,1-0,2	4,6	62,8	0,2	1,7	0,9	9,6	8,5	12,4	472	337	95	97

Monthly data on maximum and minimum temperatures, rainfall and sunshine during the experiment, collected at the meteorological station of Embrapa Amazônia Oriental, Belém (PA) (Figure 1).

Figure 1. Monthly averages of rainfall, sunshine and average air temperature during the experimental period (2008-2009), in Belém-PA (EMBRAPA Amazônia Oriental)



The experimental design used was randomized blocks, in a 4x2x3 factorial scheme, with four replications. The factors were four doses of K2O (50, 100, 200 and 300 kg ha-1 of K2O, in the form of KCl), two soil management systems (conventional tillage and no-till) and three sorghum hybrids [Sorghum bicolor (L.) Moench] (Volumax, AG 2005-E and Qualimax), comprising 24 treatments and 96 plots. The doses of potassium fertilization used in this experiment were based on a reference found in the literature (Monteiro, 1999).

The experiment used sorghum hybrids: Volumax (medium-cycle forage), the dual-purpose hybrid AG 2005-E (forage and grain) and the Qualimax hybrid (medium-cycle grain). In the conventional planting (CP) and no-till (SP) areas, the vegetation was mowed, and in the CP area there was harrowing to incorporate plant residues. In both areas, during the regrowth of the natural vegetation, a Glyphosate-based desiccant herbicide was applied, with an application volume of 3L ha-1. The area was subdivided into 8 m2 plots (2.0 x 4 m), where four rows of sorghum plants were grown, with a spacing of 0.5 m between rows and between plants. Liming was carried out 30 days before planting as a top dressing in the no-till area, on the remaining plant residue, and by incorporation in the conventional management area, with the aim of raising base saturation to 60% (Raij et al., 1996). The amount of dolomitic limestone applied was 2.5 t ha-1, with a PRNT of 95%.

The potassium fertilizer was applied according to the treatments and the nitrogen fertilizer, 200 kg ha-1 of N, was applied according to the soil analysis. Both were divided into two applications: 50% at planting and 50% in top dressing when the sorghum had fully expanded its fourth leaf. Phosphate fertilization was carried out at planting, at a dose of 50 kg ha-1 of P2O5, in the form of triple superphosphate. The nitrogen fertilizer used was ammonium sulphate, applied at planting, and urea as a top dressing. The seeds were sown in furrows at a rate of 15 seeds/m linear. After the plants emerged, they were thinned out to allow a spacing of 0.5 m between plants. Manual weeding was carried out to control weeds. The first cut took place 85 days after planting, at a height of eight centimeters from the plants' necks, and all the straw was left on the ground in the respective plots where it was planted. The sorghum regrowth was cut 85 days after the

first cut, when the panicle grains were in the pasty to floury grain stage, with the material from the aerial part falling below the soil of each plot. For the evaluations, the two central rows were taken into account, excluding the plants at the ends of each row and the outer rows formed the border.

Ten days before cutting, at full bloom, five plants were chosen at random from the useful area of the plot to measure stem diameter with a caliper, plant height with a tape measure and count the number of live tillers. The five plants (aerial part) from each plot were collected and dried in an oven with forced air circulation at 60ºC, weighed until they reached a constant weight. They were weighed to determine dry matter, then a representative sample of leaf, stem and panicle was ground in a Willey mill to analyze nutrient content. The rest of the material was returned to the respective plots.

The ground material was subjected to nitroperchloric digestion and the contents of P, K, Ca and Mg were determined in the resulting extract, with P determined by colorimetry, K by flame photometry and Ca and Mg by atomic absorption spectrophotometry. N was determined using the semi-micro Kjeldahl method. For all nutrients, the methodology described by Malavolta et al. (1997) was used. The nutrient content of the aerial part was multiplied by the dry mass produced to obtain the accumulated amount of macronutrients in the aerial part.

After cutting the sorghum regrowth, 5 simple soil samples were collected at depths of 0-0.1 m and 0.1-0.2 m in each plot to make up a composite sample at each depth. Soil samples were air-dried, homogenized and passed through a 2 mm mesh sieve for chemical analysis, which was carried out according to Embrapa (1997). The pH was determined in water (soil: solution 1: 2.5); K and P were extracted by Mehlich-1 (0.0125 mol L-1 of H2SO4 + 0.05 mol L-1 of HCl), and K was determined by flame photometry and P by colorimetry; Ca, Mg and Al, extracted with KCl 1 mol L-1, with Al determined by titration (neutralization volumetry), while Ca and Mg were determined by EDTA complexometry; H+Al extracted with calcium acetate solution 1 mol L-1 at pH 7.0 and determined by titration.

The results were subjected to analysis of variance, using the F test at a 5% probability level and a regression study. When significant and relevant, the means were compared using the Tukey test at 5% probability and the equations adjusted to adequately express the behavior of the results as a function of the doses of K applied. The computer application Sisvar 5.1 ® (Ferreira, 2011) was used.

3. RESULTS AND DISCUSSION

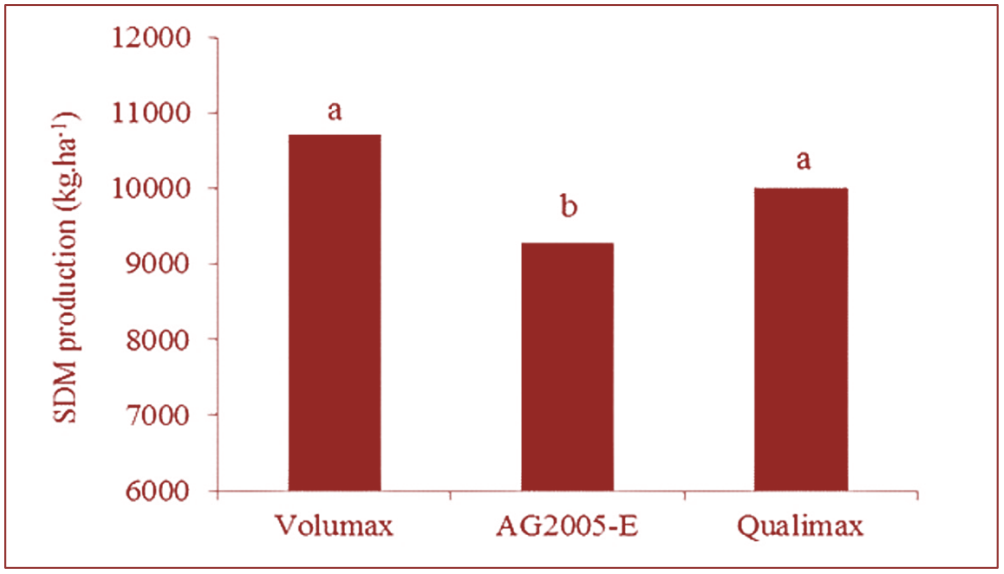
According to the results in figure 2, it can be seen that only soil management systems and sorghum hybrids influenced the sorghum's agronomic attributes. The Volumax hybrid was taller than the other hybrids in both management systems (198 cm in CP and 197 cm in NT).

It can be assumed that in this case the height variable was more influenced by the genetic characteristics of the hybrids than by the soil management systems, since the Volumax and Qualimax hybrids showed greater heights than the AG 2005E hybrid, regardless of the treatments. According to Gomes et al. (2006), different heights in sorghum hybrids are related to their genetics. Oliveira et al. (2021) also found a positive correlation between plant height and the dry mass of the aerial part (leaves and stems) and between the number of stems and the number of leaves.

The largest stem diameter was observed in the Volumax and Qualimax hybrids, both in NT and CP. This may be related to phenotypic variations. Rezende et al. (2011) studied 5 sorghum genotypes and found different diameter values. According to these authors, different genetic materials show variations in practically all phenotypic qualities. Variations in stem diameter were also found by Souza (2007) who evaluated the growth of creole varieties and commercial varieties of sorghum and found significant differences between the diameters of the materials studied.

In NT, the Volumax hybrid produced more shoot dry matter (DM) (10.3 t ha-1) than the AG 2005E hybrid (9.0 t ha-1), while the Qualimax hybrid, with intermediate production, did not differ from the others (10.0 t ha-1) (Figure 2). However, in CP both Volumax and Qualimax obtained higher SDM yields (10.2 t ha-1 and 10.1 t ha-1 respectively) when compared to hybrid AG 2005-E. The values found for the dry matter of the aerial part (DSM) of the hybrids are above those found by Veriato et al. (2018), in a study carried out in Sete Lagoas - MG, with sowing carried out at the end of February, which can be considered a second crop, reports an average accumulation of dry matter by Volumax of 9.58 t per hectare. On the other hand, the results found for SDM in this work are close to the results found by Oliveira et al. (2009) who studied the adaptability and stability of sorghum cultivars in different locations and seasons and found production ranging from 11.7 to 28.4 t ha-1 of dry matter for the Volumax cultivar. Von Pinho, Vasconcelos and Borges (2007), researching the productivity and quality of sorghum and maize, also found higher productivity for the forage hybrid (Volumax) when compared to the dual-purpose hybrid (AG 2005-E).

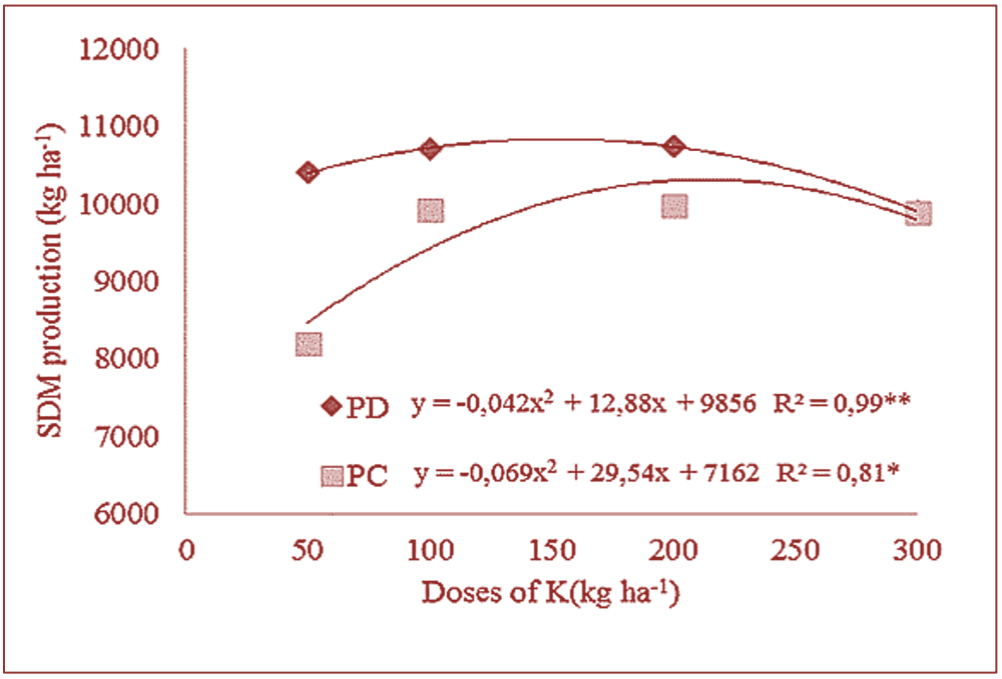
Figure 2. Shoot dry mass (SDM) production of the different hybrids studied



For the nutrient content in the leaves, there was no interaction between the doses of K applied to the soil, with only a difference between sorghum hybrids and soil management systems (Figure 3). The hybrids Volumax and AG 2005-E did not differ from each other and were superior to Qualimax in terms of N content in the two soil management systems evaluated (Figure 3). This result is very important and decisive when selecting hybrids for cultivation, as it determines dry mass production, C/N ratio and protein value, depending

on the intended use of the crop. There are different responses between and within species as a result of genetic expression, influencing the distribution of elements (De Mello Prado, 2021).

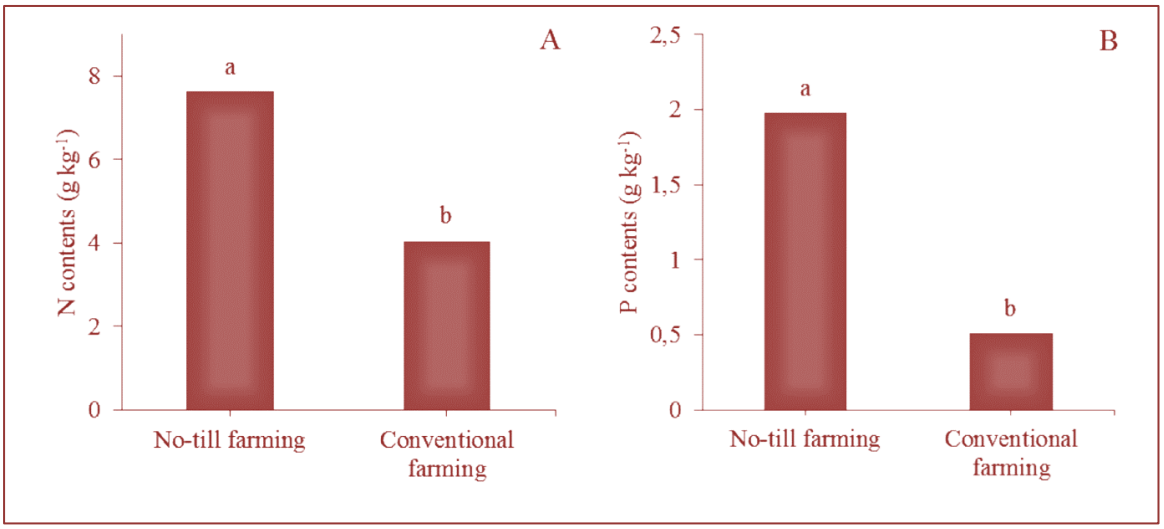
Figure 3. Dry mass of the aerial part of sorghum as a function of the conventional (CP) and no-till (DP) planting systems and doses of K grown on Yellow Latosol



When compared to CP, NT provided higher P levels for the three sorghum hybrids. This factor is due to the fact that no-till farming provided greater M.O. This corroborates the greater availability of phosphorus. The constant presence of soil cover modifies the dynamics of phosphorus, causing the content of this nutrient in the topsoil, even in organic form, to increase with a reduction in the adsorption process (Silva, 2019).

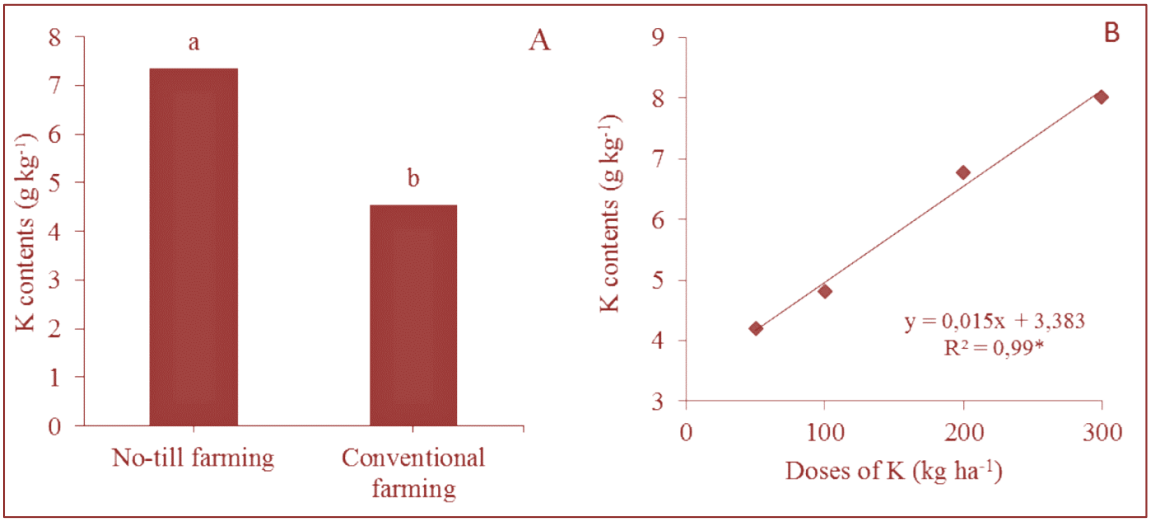
The N and P contents, regardless of the hybrid studied, were higher when grown in the DP (Figure 4). Keeping plant residues on the surface and not turning the soil promotes numerous changes in its fertility, as the added organic material provides greater retention of nutrients such as potassium, calcium and magnesium, and can act as a reservoir of nitrogen (N), phosphorus (P) and sulphur (S), which are part of its chemical constitution, being able to supply part of the crop's needs during its cycle (Calegari 2004). According to Meki et al. (2013), the long-term removal of biomass from the soil resulted in reduced yields of total biomass over time, due to the depletion of nutrients (N) which could be attributed to reduced mineralization, losses, and perhaps immobilization of N.

Figure 4. N and P content in the dry mass of the aerial part of sorghum (Sorghum bicolor L. Moench) in the different land use systems



The highest K contents in the MSPA (figure 5) were found in no-till (7.35 g kg-1) compared to conventional tillage (4.55 g kg-1). The doses of potassium applied led to a linear increase in K concentrations in the plant tissue of sorghum MSPA (figure 5). Valderrama et al. (2011) worked with sources and doses of NPK in irrigated maize under no-till and showed that the type of polymer used (KCl) was not efficient in the gradual release of K, probably due to the soil and climate conditions of the region, high temperatures, very clayey soils that retain moisture and the management systems adopted in each situation. The K in the plant is in ionic form (K+) and does not participate in the constitution of stable organic compounds. As such, this nutrient can be easily extracted from plant residues, both by rainwater and by the soil's own moisture, and is quickly made available to the crop.

Figure 5. K content in the dry mass of the aerial part of sorghum (Sorghum bicolor L. Moench) as a function of use systems and K doses

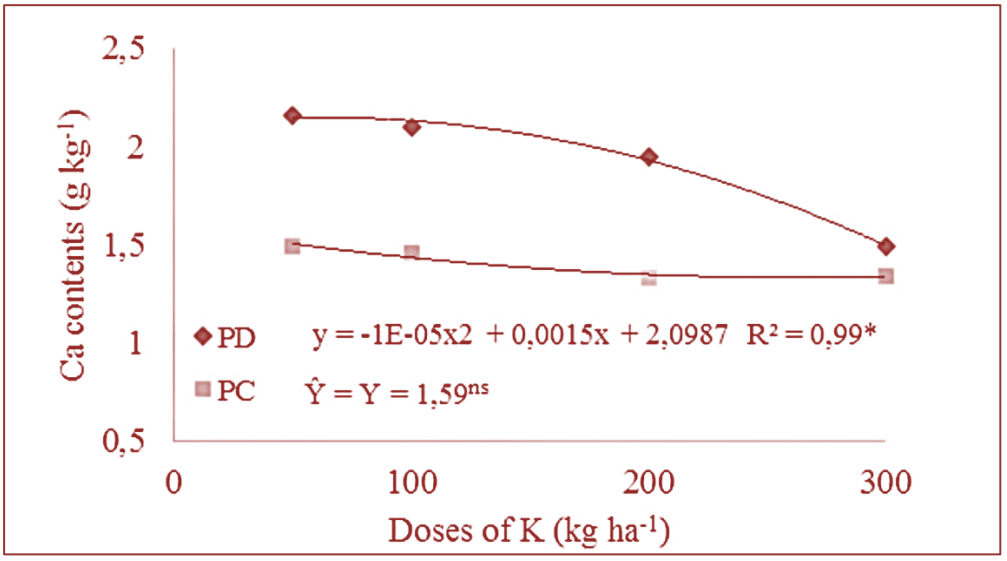


According to Epstein & Bloom (2006), after plant senescence, K quickly returns to the soil solution and becomes available to plants. The rapid release of K from plant residues into the soil and its loss through runoff was also confirmed by Rosolem et al. (2003). As a result, the amounts of K in the aerial part of cover crops can be a significant source of the nutrient for subsequent crops (Rosolem et al. 2006).

The interactions between K doses and use systems significantly affected Ca concentrations only in no-till farming, with the averages fitting the quadratic regression model (Figure 6). A decrease in Ca levels was observed as the doses of K increased. According to Mengel & Kirkby (2001), the results found in the literature allow us to state that the total sum of cations in a plant varies little with an increase in the supply of one cation, as there is generally a reduction in the proportion of other cations present. This phenomenon of one ion in excess reducing the absorption of others is called antagonism, a fact that may justify what happened in this study.

Maia et al. (2012) evaluated the release of nutrients from sorghum straw and observed that K was the nutrient released most quickly (between 29 and 34 days) in sorghum residues. The K levels found in the hybrids are within the range considered suitable for sorghum crops, 13 to 30 g kg-1 (Martinez et al. 1999).

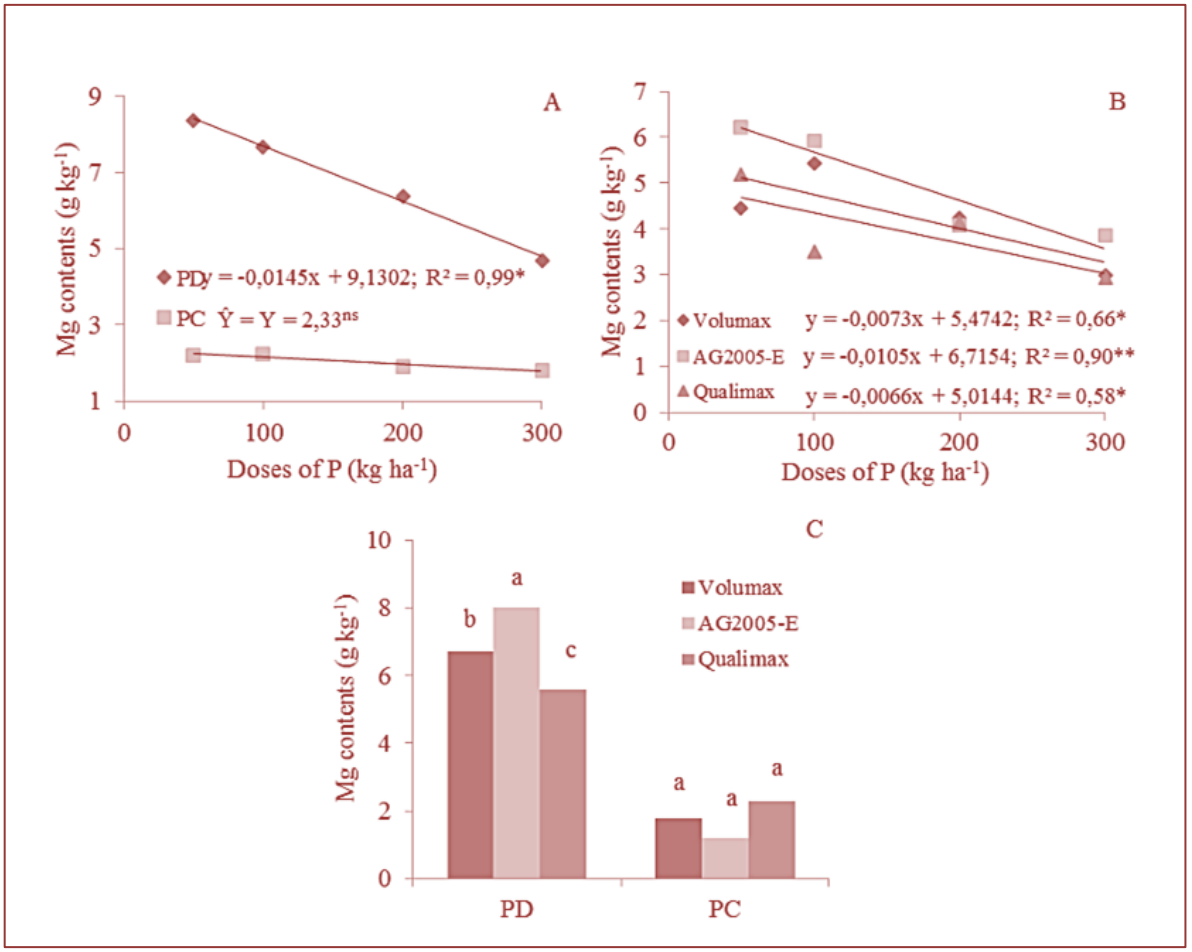
Figure 6. Ca levels in the dry mass of sorghum shoots (Sorghum bicolor L. Moench) as a function of the interaction between K doses and use systems



The Mg content was influenced by the interaction between the factors studied. In the interaction between doses and systems, the effect was significant only for no-till, with the regression equation fitting the decreasing linear model (Figure 7). The interactions between the doses of K and the hybrids showed the Mg contents fitted to the decreasing linear model (Figure 7). The Mg contents of the dry mass of the aerial part, between hybrids, did not show significant differences in conventional tillage, unlike no-tillage where a significant effect was observed for this factor, with hybrid AG2005-E showing higher Mg contents (Figure 7). The lack of significance in conventional tillage may be related to the greater leaching of Mg caused by this management system. In no-till

farming, this leaching is reduced and the element is found in greater quantities in the top layers of the soil. According to Epstein & Bloom (2006), as magnesium is less adsorbed to soil colloids than other nutrients, such as calcium, for example, as well as having a larger hydrated ionic radius than calcium, its leaching tends to be more intense.

Figure 7. Mg content in the dry mass of the aerial part of sorghum (Sorghum bicolor L. Moench) as a function of use systems and K doses



In this experiment, nitrogen fertilization was carried out (200 kg ha-1 of N), which led to higher MSD production and consequently higher N accumulation in Volumax leaf tissue. In the work by Foloni et al. (2008), it was observed that there was an increase in the production of sorghum phytomass according to the supply of N. According to these authors, the increase in production is due to the fact that, in addition to the carbohydrates stored at the base of the stem, the plants use nitrogen compounds to form new tissues.

As the doses of K increase, there is a decrease in the Mg content, which can be attributed to the antagonistic effect between the cations. The higher Mg content found in the AG2005-E hybrid may be linked to the genetic factor that predisposes the plant to develop well in lower concentrations of K during its cycle when compared to the other hybrids (Tomich et al. 2004).

4. CONCLUSION

No-till farming resulted in higher dry mass production in the aerial part of sorghum, with volumax and qualimax hybrids being superior to AG2005-E.

The levels of the elements N, P, K, Ca and Mg found in the leaf tissues of sorghum grown under no-till were higher than those found under conventional tillage.

The potassium doses resulted in higher MSPA production in no-till with 40% less potassium fertilizer than in the conventional system.

REFERENCES

[1] Albuquerque, C. J. B.; Jardim, R. B.; Alves, D. D.; Guimarães, a. s.; Porto, E. M. V., 2013. Características agronômicas e bromatológicas dos componentes vegetativos de genótipos de sorgo forrageiro em Minas Gerais. Revista Brasileira de Milho e Sorgo, v. 12, n. 2, p. 164- 182.

[2] Botelho, P. R. F.; Pires, D. A. A.; Sales, E. C. J.; Rocha Júnior, V. R.; Jayme, D. G.; Reis, S. T. 2010. Avaliação de genótipos de sorgo em primeiro corte e rebrota para produção de silagem. Revista Brasileira de Milho e Sorgo, v. 9, n. 3, p. 287-297. DOI:

[3] Cunha, E. E.; Lima, J. M. P. Caracterização de genótipos e estimativa de parâmetros genéticos de características produtivas de sorgo forrageiro. 2010. Revista Brasileira de Zootecnia, v. 39, n. 4, p. 701-706.

[4] Cunha, Eurâimi De Queiroz et al. Sistemas de preparo do solo e culturas de cobertura na produção orgânica de feijão e milho: I - atributos físicos do solo. Revista Brasileira de Ciência do Solo [online]. 2011, v. 35, n. 2 [Acesso em 12 Setembro 2022] , pp. 589-602.

[5] De Mello Prado, R. 2021. Nutrição de plantas. Editora Unesp.

[6] Embrapa. Centro Nacional de Pesquisa do Solo. 2006. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. 2.ed. Rio de Janeiro, 306p.

[7] Ferreira, D. F. 2011. Sisvar: a computer statistical analysis system. Ciência e Agrotecnologia, Lavras, v. 35, n. 6, p. 1039–1042.

[8] Foloni, J.S.S. 2008. Rebrota de soqueiras de sorgo em função da altura de corte e da adubação nitrogenada. Revista Ceres,vol. 55 n. 2, p. 102-108.

[9] Gomes, S.O.; Pitombeira. J.B.; Neiva. J.M.N.; Candido, M.J.D. 2006. Comportamento agronômico e composição químico-bromatológico de cultivares de sorgo forrageiro no Estado Do Ceará. Revista de ciência agronômica, v.37, n.2, p.221-227.

[10] Imbana, Rugana et al. 2021. Leguminosas como plantas de cobertura para melhoria da qualidade do solo. Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável, v. 16, n. 4, p. 351-357.

[11] LIRA, R.; et al. 2012. "Efeitos dos sistemas de cultivo e manejo da caatinga através da análise dos indicadores químicos de qualidade do solo na produção agrícola em Apodi, RN." *Revista Caatinga* 25.3. p. 18-24.

[12] Macedo, C. H. O.; 2012. e outros Produção e composição bromatológica do sorgo (Sorghum bicolor) cultivada sob doses de doença. Archivos de Zootecnia, v.61, n.234, p.209-216.

[13] Maia, P.R.; fernandes. A.R.; melo. V.S.; santos. E.R.; Da silva. G.B.; 2012. Reciclagem de nutrientes da palha de sorgo e atributos biológicos do solo na Amazônia Oriental. Ciênc. agrotec. vol.36 no.5 Lavras set./out.

[14] Malavolta, E.; Vitti, G.C.; Oliveira, S.A. 1997. Avaliação do estado nutricional de plantas: princípios e aplicações. 2.ed. Piracicaba: POTAFOS, 319p.

[15] Martinez, H.E.P.; Carvalho, J.G. de.; Souza, R. B. de.;1999. Diagnosticar foliar. In: RIBEIRO, A.C.; Guimarães, P.T.G.; Alvarez, V.V.H. (ed.). Recomendação de uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5a Aproximação. Viçosa: Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais. p.143-168.

[16] MekiI, M. N. et al. 2013. Energy sorghum biomass harvest thresholds and tillage effects on soil

organic carbon and bulk density. Industrial Crops and Products, Amsterdan, v. 43, n. 1, p. 172-182.

[17] Mendoza, RR; Mota, Mas. 2018. Análise da precipitação na cidade de Belém-PA (período 1967-2016). Int J Hydro, v. 2, n. 3, pág. 312-317.

[18] Moline, E. F. V.; Coutinho, E. L. M. 2015. Atributos químicos de solos da Amazônia ocidental após sucessão da mata nativa em áreas de cultivo. Revista Ciência Agronômica, v. 5

[19] Mondadori, R. G.; Frizzo, A.; Rocha, M. G. 2000. Comparação entre híbridos de sorgo para produção de silagem. In: REUNIÃO TÉCNICA ANUAL DA SORGO, 28.; REUNIÃO TÉCNICA ANUAL DE MILHO, 45., 2000, Pelotas. Anais... Pelotas: EMBRAPA – Clima Temperado. p.344-349.

[20] Monteiro, F.A et al. 1999. Combinação de doses de potássio e magnésio em solução nutritiva para os parâmetros produtivos de braquiária Marandu (compact disc). In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 36., 1999, Porto Alegre. Anais. Sociedade Brasileira de Zootecnia. p.104.

[21] Oliveira, M. W. e et al. 2019. Alocação de matéria seca, acúmulo de nutrientes e qualidade da forragem do sorgo híbrido Volumax. In: VI Simpósio Internacional de Produção Animal em Pastejo. p.231. 2019, Viçosa-MG. Anais do Simpósio Internacional de Produção Animal em Pastejo.

[22] Oliveira, M. W. e et al. 2007. Adubação fosfatada, produção de matéria seca e qualidade da forragem de dois híbridos de sorgo forrageiro. XV Congresso Brasileiro de Agrometeorologia. Aracajú, Sergipe. CD Room.

[23] Oliveira, R.P.; França; A.F.S.; da Silva, A. G.; Miyage, E. S.; DE Oliveira, E. R.; Perón, H.J.M.C. 2009. Composição química de quatro híbridos de sorgo forrageiro submetidos a doses de nitrogênio. Zootecnia Brasileira. V.10, n.04, p.1003-1012.

[24] Oliveira, T. C. e cols. 2021. Componentes de rendimento em genótipos de sorgo sacarino. Pesquisa, Sociedade e Desenvolvimento, v. 10, n. 6, pág. 1-10.

[25] Paula, A.D.M. 2016. Desempenho agronômico, bromatológico e estabilidade do sorgo para silagem em Uberlândia-MG. Dissertação de Mestrado – Instituto de Ciências Agrárias – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 51 p.

[26] Perazzo, A. F.; Santos, E. M.; Pinho, R. M. A.; Campos, F. S.; Ramos, J. P. F.; Aquino, M. M.; Silva, T. C.; Bezerra, H. F. C. 2013. Características agronômicas e eficiência do uso da chuva em cultivares de sorgo no semiárido. Ciência Rural, v. 43, n. 10, p. 1771-1776.

[27] Raij, B.V.; Cantarella, H.; Quaggio, J.A.; Furlani, A.M.C. (Ed.). Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo. 2. ed. Campinas: Instituto Agronômico, 1996. p.39. (Boletim Técnico, 100).

[28] Raij, B. V.; Andrade, J.C.; Antarella, H.; Quaggio, J. A. 2001. Instituto Agronômico. Campinas.

[29] Rezende, M.G.; Pires, D.A.S.; Botelho, P.R.F.; Rocha Júnior, V.R.; DE Sales, E.C.J.; Jayme, D.G.; DOS Reys, S.T.; Pimentes, L.R.; Lima, L.O.B.; Kanemoto, E.R.; Moreira. P.R. 2011. Características Agronômicas de cinco genótipos de sorgo. [Sorghum bicolor (L.) MOENCH], cultivados no Inverno, para Produção de Silagem. Revista Brasileira de Milho e Sorgo, v.10, n.2, p. 171-179.

[30] Santos, H. C.; Fraga, V. S.; Raposo, R. W. C.; Pereira, W. E. 2009. Cu e Zn em sorgo cultivado em três classes de solo. I. Crescimento e produção vegetativa. Revista Brasileira de Engenharia Agronômica e Ambiental, v.13, n.2, p.125-130.

[31] Santos, F. G. S.; Rodrigues, J. A. S.; Schaffert, R. E.; Lima, J. M. P.; Pitta. G. V. E.; Casela, C. R.; ferreira, A. S. 2007. BRS Ponta Negra Variedade de Sorgo Forrageiro. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo. (Comunicado Técnico, 147).

[32] SILVA, Bárbara Fernanda da. Forrageiras e influenciando a dinâmica do fósforo em solo cultivado com milho. 2019.

[33] Silva, R. S.; Vendruscolo, T. S.; Castrillon, M. A.; Luz, P. B.; Lima, C. C.; Barelli, M. A. A. 2016. Qualidade fisiológica de sementes de sorgo biomassa (Sorghum bicolor L. Moench). Revista Espacios, v. 37, n. 31, p. 12.

[34] Simões, W.L. et al. 2022. Arranjo populacional do sorgo forrageiro irrigado para um cultivo eficiente no Semiárido brasileiro. Revista Brasileira de Desenvolvimento. v.8, n.3, p. 16305-16320. See More

[35] Souza. M. 2007. Avaliação do crescimento de variedades crioulas e comerciais de sorgo (Sorghum bicolor). Revista Brasileira de Agroecologia, Vol.2 Nº.2, p.795-798.

[36] Skonieski, F.R. et al. 2010. Produção, caracterização nutricional e fermentativa de silagens de sorgo forrageiro e sorgo duplo propósito. Acta Scientiarum. Zootecnia, v.32, n.1, p.27-32.

[37] Veriato, F. T. et al. 2018. Características da fermentação e valores nutritivos da silagem de sorgo. Acta Scientiarum Animal Sciences, v. 40, e34458.

[38] Von Pinho, R. G., Vasconcelos, R. C. D., Borges, I. D., & Resende, A. V. D. 2007. Produtividade e qualidade da silagem de milho e sorgo em função da época de semeadura. Bragantia, *66*, 235-245.

Capítulo 2

Apontamentos sobre a tecnologia de aplicação de agentes de controle biológico

Neder Henrique Martinez Blanco
Cristiane Gonçalves de Mendonça
Felipe André Sganzerla Graichen

Resumo: Os produtos biológicos têm se popularizado na agricultura mundial e se estabeleceram como uma alternativa viável e mais ecológica ao uso massivo de agrotóxicos. Sendo uma prática comum desde os anos 1970 para o controle de insetos-praga, o controle biológico tem apresentado fungos e bactérias cada vez mais eficientes no controle de estresses bióticos, além de poderem auxiliar no desenvolvimento de culturas sob estresses abióticos. Apesar dos avanços no controle biológico, ainda é necessário desenvolver técnicas e tecnologias que maximizem o efeito e eficiência dos agentes de controle biológico. O maior desafio para a tecnologia de aplicação de microrganismos benéficos é preservar a atividade biológica, isto é, garantir condições de aplicação que permitam plena colonização e boas condições de competição para os agentes biológicos. Os estudos atuais se concentram na busca por formulações adequadas. que possam manter a viabilidade dos microrganismos, manter as atividades biológicas, facilitar a aplicação e, ainda, aumentar o tempo de prateleira dos produtos. Além disso, resta elucidar a compatibilidade entre os diferentes microrganismos com outros produtos utilizados na agricultura e estabelecer parâmetros para a regulagem de equipamentos e as condições abióticas ideias para garantir a eficiência da aplicação. Por fim, é importante ressaltar que o preenchimento dessas lacunas de conhecimento representa a maximização da eficiência do biocontrole e uma oportunidade para o manejo integrado, como forma de estabelecer práticas agrícolas eficientes e ecologicamente responsáveis.

Palavras-chave: Biocontrole, produtos biológicos, métodos de introdução, doenças de plantas, manejo integrado.

1. INTRODUÇÃO

O uso de agentes de controle biológico está tornando-se cada vez mais popular na agricultura, sendo viabilizado no controle de estresses bióticos e até mesmo abióticos em plantas cultivadas (Hussain et al., 2020). O interesse pelo controle biológico cresceu em função de uma necessidade por alternativas ecológicas ao uso massivo de agrotóxicos (Fira et al., 2018), além de ser uma forte e lucrativa tendência de mercado nos últimos anos (Almeida, 2020).

Em países de grande produção, como Brasil e China, o controle biológico é utilizado desde os anos 1970 para o controle de insetos-praga (Li et al., 2010), com um crescimento do setor para abranger o controle de nematoides e doenças (Parra, 2014). Além disso, há uma popularização mais recente do uso de metabólitos e subprodutos de fungos e bactérias antagonistas, que são cada vez mais eficazes no controle de doenças de plantas (Hussain et al., 2020).

Para se manter competitivo contra os agrotóxicos, o controle biológico precisa dispor de práticas e técnicas que aumentem a sua eficiência e melhorem o seu custo-benefício (Barratt et al., 2018). Os elementos chave para a utilização eficaz de agentes de biocontrole são alto grau de conhecimento no manejo (Heydari; Pessarakli, 2010) e atenção aos fatores que envolvem a tecnologia de aplicação das formulações (Bamisile et al., 2018). Contudo, a tecnologia de aplicação é um fator frequentemente negligenciado no campo (Preininger et al., 2018).

2. TECNOLOGIA DE APLICAÇÃO DE AGENTES DE CONTROLE BIOLÓGICO

As tecnologias de aplicação e avaliações de risco para agentes de controle biológico normalmente recebem pouca atenção (Preininger et al., 2018; Shapiro-Ilan et al., 2006). A negligência desses fatores, que pode estar associada à ideia de ausência de risco na utilização de produtos biológicos, é a chave para a eficiência do biocontrole (Bamisile et al., 2018).

É importante ressaltar que os agentes de controle biológico são organismos vivos e, portanto, são mais sensíveis às condições da aplicação do que pesticidas químicos (Spadaro; Gullino, 2005). Todos os componentes da tecnologia de aplicação têm efeito sobre o biocontrole (Shapiro-Ilan et al., 2006). Os fatores que afetam a eficácia do controle biológico envolvem formulação, forma de introdução, pressão dos bicos, dose, momento de aplicação, equipamentos, fisiologia dos alvos, radiação UV, umidade, pH e até mesmo o manejo da área (Bamisile et al., 2018; Pérez-García; Romero; De Vicente, 2011; Preininger et al., 2018; Shapiro-Ilan et al., 2006).

As principais limitações da tecnologia de aplicação de produtos biológicos envovlem a preservação da atividade biológica, condições de umidade e estabilidade das formulações (Cortés-Rojas et al., 2021). A aplicação precisa proporcionar uma alta densidade populacional e uma colonização consistente do agente de controle biológico, de maneira que é necessário garantir os gradientes adequados de pH, luz e competição (Cortés-Rojas et al., 2021; Jaber; Ownley, 2018; Shapiro-Ilan et al., 2006; Spadaro; Gullino, 2005).

O elemento da tecnologia de aplicação que recebe o maior holofote atualmente é a formulação de produtos biológicos. Nesse caso, a utilização do formulado ideal pode representar uma resolução para problemas que envolvem tanto facilitar a aplicação quanto o tempo de prateleira, que é um fator limitante para a comercialização de produtos

para o controle biológico (Spadaro; Gullino, 2005). Algumas formulações, como os óleos, apresentam maior viabilidade para utilização em campo (Mbarga et al., 2020).

No contexto dos produtos biológicos, algumas das formulações mais utilizadas são pós molháveis, grânulos dispersíveis e líquidos (com suspensões, emulsões e óleos). No controle biológico, uma formulação adequada pode determinar o modo de introdução e os equipamentos utilizados (Preininger et al., 2018). Diferentes produtos podem ser formulados para usos específicos, como aplicação no solo ou utilização em casa de vegetação (Pérez-García; Romero; De Vicente, 2011). Além disso, a formulação é um fator ainda mais importante em aplicações pós-colheita, devido ao alto nível de controle requerido nesses casos (Nunes, 2012).

Outros componentes da tecnologia de aplicação são fundamentais para a eficiência do controle biológico, como a forma de introdução. Os microrganismos antagonistas podem ser introduzidos via tratamento de sementes, imersão das raízes em suspensão contento o microrganismo, aplicações no solo e aplicações foliares (Preininger et al., 2018). Também é possível introduzir antagonistas pela incorporação de substratos e compostos orgânicos inoculados com agentes de controle biológico (Heydari; Pessarakli, 2010).

O posicionamento de produtos de controle biológico e as tecnologias para maximizar o seu efeito são fatores a serem estudados (Marrone, 2019). As tomadas de decisão para a tecnologia de aplicação devem considerar fatores ecológicos, a fisiologia do agente biológico, a fisiologia e ecologia do microrganismo alvo, a espécie vegetal cultivada e o manejo da área (Bamisile et al., 2018; Funahashi; Parke, 2016; Gonçalves et al., 2018; Silva et al., 2018). O momento de aplicação é um importante elemento a ser considerado e que deve levar em conta o ciclo do patógeno, o comportamento do agente biológico e o histórico de manejo da área (Heydari; Pessarakli, 2010; Kamel et al., 2020; Kruschewsky, 2019; Marcellin et al., 2018). A utilização de agrotóxicos e até mesmo de outros agentes de controle biológico podem levar a uma incompatibilidade e redução da eficiência do microrganismo utilizado (De Araujo; Medeiros; Torres, 2021; Gonçalves et al., 2018; Kruschewsky, 2019).

A tecnologia de aplicação de produtos biológicos passa ainda por questionamentos a respeito da sua integração com outras estratégias de manejo a campo. Inseticidas, herbicidas, fungicidas e fertilizantes minerais podem reduzir o crescimento e esporulação dos agentes biológicos, inviabilizando sua ação no controle de patógenos (DE ARAUJO; Medeiros; Torres, 2021; Gonçalves et al., 2018; Kruschewsky, 2019; RAJ et al., 2021; Ramírez-Olier et al., 2021). É importante estudar as possíveis interações para dar suporte a decisões adequadas que se adequem ao manejo, como à utilização de pesticidas que não interfiram na eficiência do biocontrole (Silva et al., 2018).

A prática de misturas de tanque, que é comum entre produtores rurais (Barroso et al., 2022; Gazziero, 2015), pode inviabilizar o controle biológico. A mistura entre um agente de controle biológico e um agrotóxico dificilmente encontrará combinações compatíveis (Ali; Ramadan, 2019; De Araujo; Medeiros; Torres, 2021; RAJ et al., 2021) e a combinação entre diferentes agentes de controle biológico, embora mais provável, também pode apresentar incompatibilidades (Kruschewsky, 2019). É importante ressaltar a sensibilidade dos organismos aos fatores abióticos da aplicação, como pH, luz, umidade e radiação (Bamisile et al., 2018; Shapiro-Ilan et al., 2006; Spadaro; Gullino, 2005). Uma mistura adequada precisaria manter as condições adequadas para microrganismos com fisiologias diferentes ou garantir que o agrotóxico utilizado não altere as condições ideias para o agente de controle biológico, uma condição pouco provável

3. *TRICHODERMA* NO CONTROLE DE DOENÇAS: ASPECTOS DA TECNOLOGIA DE APLICAÇÃO

Os fungos do gênero *Trichoderma* foram popularizados por seus efeitos benéficos em plantas cultivadas (Manoharachary; Nagaraju, 2020). A utilização desses fungos no controle de doenças de plantas é viabilizada por apresentarem mecanismos que reduzem o crescimento de patógenos, como hiperparasitismo, produção de metabólitos antagonistas e competição por substrato (Islam et al., 2017; Kamel et al., 2020). Além disso, *Trichoderma* pode ser facilmente isolado, cultivado e produzido em massa (Fraceto et al., 2018).

A eficiência de *Trichoderma* como agente de biocontrole não está relacionada unicamente aos mecanismos antagônicos apresentados pelo fungo. A formulação, aplicação e compatibilidade com outros produtos, também podem ser determinantes (Kumar; Thakur; Rani, 2014). Os fatores mais frequentemente associados ao insucesso do biocontrole estão relacionados com a introdução do produto biológico na área, sendo eles: rápido declínio populacional do agente de biológico, variabilidade na produção de metabólitos e baixa colonização (Khare; Arora, 2015).

A tecnologia de aplicação de *Trichoderma* para o controle biológico de doenças dispõe de uma variedade de técnicas de introdução. As formas de aplicação mais recomendadas são o tratamento de sementes, a pulverização no solo, pulverização na parte aérea e imersão de raízes (Islam et al., 2017; Kumar; Thakur; Rani, 2014; Pastrana et al., 2016; Sunpapao; Chairin; ITO, 2018). No entanto, também é possível fazer introdução do fungo via *biopriming* (Ferreira et al., 2022), encapsulação de sementes com esporos de *Trichoderma* (PEIL et al., 2020), em conjunto com compostos orgânicos (Héraux et al., 2005), via carregadores inertes e biopolímeros (Prasad; Chandrika; Godbole, 2020), inoculado em *pellets* de madeira (Chammem; Nesler; Pertot, 2021),e até mesmo disseminado por insetos polinizadores como abelhas e mamangavas (Kovach; Petzoldt; Harman, 2000). A peletização de sementes também já foi testada como forma de introdução para *Trichoderma* sem resultados satisfatórios (Bell; Stewart; Rowarth, 2000).

No controle biológico de doenças foliares, é importante observar a intensidade da doença, para que seja ajustada a frequência de aplicações, que deve ser aumentada em ocasiões de alta severidade (Hanada et al., 2009). A combinação de métodos de aplicação é recomendada como estratégia para aumentar o controle de doenças policíclicas (Ferreira; Musumeci, 2021). Recomenda-se, ainda, a reintrodução de espécies nativas de *Trichoderma*, isoladas da área de cultivo, para garantir que as condições ambientais sejam favoráveis ao fungo (Howell, 2003), mas a utilização de produtos formulados pode oferecer melhores condições para a aplicação (Ferreira; Musumeci, 2021).

Os patógenos radiculares oferecem maiores limitações para o biocontrole (Jaiswal et al., 2017; Rani, 2017). Embora *Trichoderma* apresente mecanismos para controlar esses patógenos (Pastrana et al., 2016), é necessário promover a interação entre o agente biológico com o ambiente (BASTAKOTI et al., 2017) e considerar as características do patógeno (Jaiswal et al., 2017).

O biocontrole de *Trichoderma* sobre patógenos radiculares precisa de técnicas que assegurem boas condições para a colonização do substrato e expressão dos mecanismos de ação (Glare et al., 2012; Khare; Arora, 2015). Nesse sentido, o momento de aplicação e a manutenção da densidade populacional são fatores que devem ser considerados

(Abdalla et al., 2014; Díaz-Gutiérrez et al., 2021; Khare; Arora, 2015; Pastrana et al., 2016). A aplicação em *pellets* de madeira contendo esporos do fungo pode auxiliar o processo de manter esporos no solo e garantir uma colonização mais duradoura (Chammem; Nesler; Pertot, 2021).

A utilização de *Trichoderma* em conjunto com outras estratégias de manejo é uma possibilidade para o controle de patógenos radiculares (Funahashi; Parke, 2016). Considera-se que a estratégia mais eficiente para o controle desses patógenos seja o manejo de solos saudáveis, que apresentem características supressivas ao desenvolvimento de doenças radiculares (Lal, 2016; Pal; Mcspadden Gardener, 2006; Rani, 2017; Sunpapao; Chairin; Ito, 2018). *Trichoderma* pode desempenhar um papel importante nesse modelo de manejo (Kumar; Thakur; Rani, 2014; Lal, 2016; Rani, 2017).

4. CONCLUSÕES E PERSPECTIVAS

O controle biológico tem um espaço crescente no mercado (Almeida, 2020), com produtos cada vez mais eficientes (Hussain et al., 2020) e mais tecnológicos (Pérez-García; Romero; De Vicente, 2011). Contudo, é necessário que sejam desenvolvidas práticas e técnicas que maximizem a eficácia dos produtos biológicos (Barratt et al., 2018).

Os fungos do gênero *Trichoderma* têm um papel importante no controle biológico de doenças (Manoharachary; Nagaraju, 2020). A utilização desse fungo no controle de doenças foliares tem estratégias de aplicação definidas e variadas (Ferreira; Musumeci, 2021). Contudo, o controle biológico de patógenos radiculares é mais limitado e depende de fatores mais complexos para ser eficiente (Glare et al., 2012; Rani, 2017). É importante que a tecnologia de aplicação colabore com as condições necessárias para o biocontrole (Khare; Arora, 2015) e que estratégias de manejo eficazes sejam definidas (Lal, 2016).

A eficiência do controle biológico é totalmente dependente de uma tecnologia de aplicação adequada (Shapiro-Ilan et al., 2006). Contudo, esse é um fator frequentemente negligenciado a campo para os produtos de biocontrole (Preininger et al., 2018). É indispensável a produção de conhecimento afim de auxiliar o posicionamento e os métodos de introdução de agentes biológicos (Marrone, 2019). A lacuna de conhecimento encontrada para essas tecnologias de aplicação é ampliada pelo fato de que os diferentes microrganismos podem ter respostas diferentes em cada situação e quando aplicados em cada cultura (Bamisile et al., 2018).

A busca por formulações adequadas que auxiliem a aplicação, viabilidade e o tempo de prateleira é um fator importante a ser considerado (Spadaro; Gullino, 2005), e permanecerá como um foco de pesquisas na área. Quanto aos métodos de introdução dos agentes de biocontrole nas áreas de produção, é necessário que as práticas se adequem às necessidades dos microrganismos a serem aplicados, de maneira a preservar a atividade biológica e garantir a plena colonização dos antagonistas (Cortés-Rojas et al., 2021; Heydari; Pessarakli, 2010; Jaber; Ownley, 2018).

Outras práticas, como as misturas de tanque e seus efeitos sobre a compatibilidade e eficiência do biocontrole ainda restam a ser elucidados. Ainda que um dos objetivos do controle biológico seja a redução do volume de agrotóxicos utilizados, o controle químico desempenha um importante papel no cultivo agrícola e não será superado rapidamente. Nesse sentido, é indispensável que sejam estabelecidas estratégias de manejo integrado, incluindo métodos culturais, químicos e biológicos.

REFERÊNCIAS

[1] ABDALLA, S. A.; ALGAM, S. A. A.; IBRAHIM, E. A.; EL NAIM, A. M. *In vitro* screening of *Bacillus* isolates for biological control of early blight disease of tomato in shambat soil. **World Journal of Agricultural Research**, Newark, v. 2, n. 2, p. 47–50, 2014.

[2] ALI, A.; RAMADAN, M. *In vitro* integration of *Trichoderma harzianum* with chemical pesticides pertain to different classes. **Journal of Plant Protection and Pathology**, Giza, v. 10, n. 9, p. 431–436, 2019.

[3] ALMEIDA, J. E. M. De. Bio-factories for the production of mycopesticides in Brazil: business opportunities and innovations. **Brazilian Journal of Animal and Environmental Research**, São José dos Pinhais, v. 3, n. 3, p. 2544–2557, 2020.

[4] BAMISILE, B. S.; DASH, C. K.; AKUTSE, K. S.; KEPPANAN, R.; AFOLABI, O. G.; HUSSAIN, M.; QASIM, M.; WANG, L. Prospects of endophytic fungal entomopathogens as biocontrol and plant growth promoting agents: An insight on how artificial inoculation methods affect endophytic colonization of host plants. **Microbiological Research**, Jena, v. 217, p. 34–50, 2018.

[5] BARRATT, B. I. P.; MORAN, V. C.; BIGLER, F.; VAN LENTEREN, J. C. The status of biological control and recommendations for improving uptake for the future. **BioControl**, Dordrecht, v. 63, n. 1, p. 155–167, 2018.

[6] BARROSO, G. M.; DUQUE, T. S.; CUSTÓDIO, I. G.; LEITE, M. L. F.; CORRÊA, J. M.; SILVA, D. V.; JÚNIOR, A. P. B.; DA SILVA, F. D.; DOS SANTOS, J. B. Expansion of Planted Forests: The Risk of Pesticides Mixtures. **Forests**, Basel, v. 13, n. 1, p. 50, 2022.

[7] BASTAKOTI, S.; BELBASE, S.; MANANDHAR, S.; ARJYAL, C. Trichoderma species as biocontrol agent against soil borne fungal pathogens. **Nepal Journal of Biotechnology**, Nepal, v. 5, n. 1, p. 39–45, 2017.

[8] BELL, J. V.; STEWART, A.; ROWARTH, J. S. Application method and growing medium affects the response of cucumber seedlings to inoculation with *Trichoderma harzianum*. **Australasian Plant Pathology**, Clayton, v. 29, n. 1, p. 15–18, 2000.

[9] CHAMMEM, H.; NESLER, A.; PERTOT, I. Wood pellets as carriers of conidia of Trichoderma atroviride SC1 for soil application. **Fungal Biology**, Amsterdam, v. 125, n. 12, p. 989–998, 2021.

[10] CORTÉS-ROJAS, D.; BELTRÁN-ACOSTA, C.; ZAPATA-NARVAEZ, Y.; CHAPARRO, M.; GÓMEZ, M.; CRUZ-BARRERA, M. Seed coating as a delivery system for the endophyte *Trichoderma koningiopsis* Th003 in rice (Oryza sativa). **Applied Microbiology and Biotechnology**, Berlin, v. 105, n. 5, p. 1889–1904, 2021.

[11] DE ARAUJO, M. H. O.; MEDEIROS, G. G.; TORRES, L. C. Compatibility of insecticides used in the treatment of soybean seeds with *Trichoderma*. **Brazilian Journal of Development**, São José dos Pinhais, v. 7, n. 11, p. 104366–104374, 2021.

[12] DÍAZ-GUTIÉRREZ, C.; ARROYAVE, C.; LLUGANY, M.; POSCHENRIEDER, C.; MARTOS, S.; PELÁEZ, C. *Trichoderma asperellum* as a preventive and curative agent to control *Fusarium* wilt in *Stevia rebaudiana*. **Biological Control**, Cambridge, v. 155, n. 104537, p. 1–11, 2021.

[13] FERREIRA, T. C.; PATRÍCIO, M. D. C.; OLIVEIRA, M. R. G. De; PEREZ-MARIN, A. M. PROMOÇÃO DE VIGOR E GERMINAÇÃO EM SEMENTES DA CAATINGA PELA UTILIZAÇÃO DE TÉCNICAS DE PRIMING. **BIOFIX Scientific Journal**, Curitiba, v. 7, n. 1, p. 37, 2022.

[14] FERREIRA, F. V.; MUSUMECI, M. A. *Trichoderma* as biological control agent: scope and prospects to improve efficacy. **World Journal of Microbiology and Biotechnology**, Berlin, v. 37, n. 5, p. 90, 2021.

[15] FIRA, D.; DIMKIĆ, I.; BERIĆ, T.; LOZO, J.; STANKOVIĆ, S. Biological control of plant pathogens by *Bacillus* species. **Journal of Biotechnology**, Amsterdam, v. 285, p. 44–55, 2018.

[16] FRACETO, L. F.; MARUYAMA, C. R.; GUILGER, M.; MISHRA, S.; KESWANI, C.; SINGH, H. B.; DE LIMA, R. *Trichoderma harzianum* -based novel formulations: potential applications for management of Next-Gen agricultural challenges. **Journal of Chemical Technology & Biotechnology**, Chichester, v. 93, n. 8, 2018.

[17] FUNAHASHI, F.; PARKE, J. L. Effects of soil solarization and *Trichoderma asperellum* on soilborne inoculum of *Phytophthora ramorum* and *Phytophthora pini* in container nurseries. **Plant Disease**, Saint

Paul, v. 100, n. 2, p. 438–443, 2016.

[18] GAZZIERO, D. L. P. Misturas de agrotóxicos em tanque nas propriedades agrícolas do Brasil. **Planta Daninha**, Campinas, v. 33, n. 1, p. 83–92, 2015.

[19] GLARE, T.; CARADUS, J.; GELERNTER, W.; JACKSON, T.; KEYHANI, N.; KÖHL, J.; MARRONE, P.; MORIN, L.; STEWART, A. Have biopesticides come of age? **Trends in Biotechnology**, Amsterdam, v. 30, n. 5, p. 250–258, 2012.

[20] GONÇALVES, V. P.; ROSA, A. P. A. Da; MOREIRA-NUÑEZ, V.; MOCCELLIN, R.; FARIAS, C. R. J. De; MARTINS, J. F. da S. **Metodologia para Avaliação da Compatibilidade de Agrotóxicos com Fungos Entomopatogênicos**, Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2018. (Circular Técnica 194).

[21] HANADA, R. E.; POMELLA, A. W. V.; SOBERANIS, W.; LOGUERCIO, L. L.; PEREIRA, J. O. Biocontrol potential of *Trichoderma martiale* against the black-pod disease (Phytophthora palmivora) of cacao. **Biological Control**, Cambridge, v. 50, n. 2, p. 143–149, 2009.

[22] HÉRAUX, F. M.; HALLETT, S. G.; RAGOTHAMA, K. G.; WELLER, S. C. Composted Chicken Manure as a Medium for the Production and Delivery of Trichoderma virens for Weed Control. **HortScience**, Alexandria, v. 40, n. 5, p. 1394–1397, 2005.

[23] HEYDARI, A.; PESSARAKLI, M. A Review on Biological Control of Fungal Plant Pathogens Using Microbial Antagonists. **Journal of Biological Sciences**, Faisalabad, v. 10, n. 4, p. 273–290, 2010.

[24] HOWELL, C. R. Mechanisms employed by *Trichoderma* species in the biological Control of plant diseases: The history and evolution of current concepts. **Plant Disease**, Saint Paul, v. 87, n. 1, p. 4–10, 2003.

[25] HUSSAIN, T.; SINGH, S.; DANISH, Mohd.; PERVEZ, R.; HUSSAIN, K.; HUSAIN, R. Natural Metabolites: An Eco-friendly Approach to Manage Plant Diseases and for Better Agriculture Farming. In: SINGH, J.; YADAV, A. N. (Eds.). **Natural Bioactive Products in Sustainable Agriculture**. 1. ed. Singapore: Springer Singapore, 2020. p. 1–13.

[26] ISLAM, Md. M.; HOSSAIN, D. M.; NONAKA, M.; HARADA, N. Biological control of tomato collar rot induced by *Sclerotium rolfsii* using *Trichoderma* species isolated in Bangladesh. **Archives of Phytopathology and Plant Protection**, Berlin, v. 50, n. 3–4, p. 109–116, 2017.

[27] JABER, L. R.; OWNLEY, B. H. Can we use entomopathogenic fungi as endophytes for dual biological control of insect pests and plant pathogens? **Biological Control**, Cambridge, v. 116, p. 36–45, 2018.

[28] JAISWAL, A. K.; ELAD, Y.; PAUDEL, I.; GRABER, E. R.; CYTRYN, E.; FRENKEL, O. Linking the belowground microbial composition, diversity and activity to soilborne disease suppression and growth promotion of tomato amended with biochar. **Scientific Reports**, London, v. 7, n. 1, p. 1–17, 2017.

[29] KAMEL, S.; FARAG, F.; ARAFA, R.; ESSA, T. Bio-Control Potentials of *Trichoderma* spp. Against *Sclerotium rolfsii* the Causative of Root and Crown Rot in Tomato, Common Bean and Cabbage. **Egyptian Journal of Phytopathology**, Cairo, v. 48, n. 1, p. 122–136, 2020.

[30] KHARE, E.; ARORA, N. K. Effects of soil environment on field efficacy of microbial inoculants. In: ARORA, N. K. (Ed.). **Plant Microbes Symbiosis: Applied Facets**. 1. ed. New Delhi: Springer India, 2015. p. 353–381.

[31] KOVACH, J.; PETZOLDT, R.; HARMAN, G. E. Use of honey bees and bumble bees to disseminate *Trichoderma harzianum* 1295-22 to strawberries for *Botrytis* control. **Biological Control**, Cambridge, v. 18, n. 3, p. 235–242, 2000.

[32] KRUSCHEWSKY, L. S. **Compatibilidade de *Trichoderma asperellum* com produtos agrícolas aplicados na cultura da bananeira**. Dissertação (Mestrado em Microbiologia Agrícola) - Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Cruz das Almas, 63f., 2019.

[33] KUMAR, S.; THAKUR, M.; RANI, A. *Trichoderma*: Mass production, formulation, quality control, delivery and its scope in commercialization in India for the management of plant diseases. **African journal of agricultural research**, Kenya, v. 9, n. 53, p. 3838–3852, 2014.

[34] LAL, R. Soil health and carbon management. **Food and Energy Security**, Oxford, v. 5, n. 4, p. 212–222, 2016.

[35] LI, Z.; ALVES, S. B.; ROBERTS, D. W.; FAN, M.; DELALIBERA, I.; TANG, J.; LOPES, R. B.; FARIA, M.;

RANGEL, D. E. N. Biological control of insects in Brazil and China: history, current programs and reasons for their successes using entomopathogenic fungi. **Biocontrol Science and Technology**, Abingdon, v. 20, n. 2, p. 117–136, 2010.

[36] MANOHARACHARY, C.; NAGARAJU, D. *Trichoderma*: Boon for Agriculture. In: MANOHARACHARY, C. (Ed.). ***Trichoderma*: Agricultural Applications and Beyond**. Soil Biology, vol 61. 1. ed. Cham: Springer, p. 87–112, 2021.

[37] MARCELLIN, M. L.; FRANÇOIS, M. E.; VALTERI, V. A.; ENDALI, E. M.-J.; BEGOUDE, B. A. D. *In vitro* study of the compatibility of six fungicides with two strains of *Trichoderma asperellum*, biocontrol agents used against cacao black pod disease in Cameroon. **International Journal of Innovation and Applied Studies**, Morocco, v. 24, n. 4, p. 1834–1848, 2018.

[38] MARRONE, P. G. Pesticidal natural products – status and future potential. **Pest Management Science**, West Sussex, v. 75, n. 9. p.5433, 2019.

[39] MBARGA, J. B.; BEGOUDE, B. A. D.; AMBANG, Z.; MEBOMA, M.; KUATE, J.; EWBANK, W.; HOOPEN, G. M. Ten. Field testing an oil-based *Trichoderma asperellum* formulation for the biological control of cacao black pod disease, caused by Phytophthora megakarya. **Crop Protection**, Amsterdam, v. 132, p. 105134, 2020.

[40] NUNES, C. A. Biological control of postharvest diseases of fruit. **European Journal of Plant Pathology**, Dordretch, v. 133, n. 1, p. 181–196, 2012.

[41] PAL, K. K.; MCSPADDEN GARDENER, B. Biological control of plant pathogens. **The Plant Health Instructor**, Saint Paul, v. 2, n. 1, p. 1117–1142, 2006.

[42] PARRA, J. R. P. Biological Control in Brazil: an overview. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 71, n. 5, p. 420–429, 2014.

[43] PASTRANA, N. M.; BASALLOTE-UREBA, M. J.; AGUADO, A.; AKDI, A.; CAPOTE, N. Biological control of strawberry soil-borne pathogens *Macrophomina phaseolina* and *Fusarium solani*, using *Trichoderma asperellum* and *Bacillus* spp. **Phytopathologia Mediterranea**, Bologna, v. 55, n. 1, p. 109–120, 2016.

[44] PEIL, S.; BECKERS, S. J.; FISCHER, J.; WURM, F. R. Biodegradable, lignin-based encapsulation enables delivery of *Trichoderma reesei* with programmed enzymatic release against grapevine trunk diseases, **Materials Today Bio**, London, v. 7, p. 100061, 2020.

[45] PÉREZ-GARCÍA, A.; ROMERO, D.; DE VICENTE, A. Plant protection and growth stimulation by microorganisms: biotechnological applications of Bacilli in agriculture. **Current Opinion in Biotechnology**, London, v. 22, n. 2, p. 187–193, 2011.

[46] PRASAD, R. D.; CHANDRIKA, K. S. V. P.; GODBOLE, V. A novel chitosan biopolymer based *Trichoderma* delivery system: Storage stability, persistence and bio efficacy against seed and soil borne diseases of oilseed crops. **Microbiological Research**, Amsterdam, v. 237, p. 126487, 2020.

[47] PREININGER, C.; SAUER, U.; BEJARANO, A.; BERNINGER, T. Concepts and applications of foliar spray for microbial inoculants. **Applied Microbiology and Biotechnology**, Berlin, v. 102, n. 17, p. 7265–7282, 2018.

[48] RAJ, S. K.; SYRIAC, E. K.; KUMARI, K. S. M.; ANITH, K. N. Compatibility of Pre-mix Herbicide Mixture, Penoxsulam 1.02%+ Cyhalofopbutyl 5.1% OD with Bio-fertilizer Organisms and Biocontrol Agents. **Pesticide Research Journal**, India, v. 33, n. 1, p. 66–71, 2021.

[49] RAMÍREZ-OLIER, J. P.; GÓMEZ-BERRIO, H. D.; TRUJILLO-SALAZAR, J. A.; DELGADO-GÓMEZ, D. L.; RIVERA-ZULETA, C. S.; BOTERO, L. R. *In vitro* evaluation the toxicity in mixture of glyphosate and methyl metsulfuron against strains of *Trichoderma* spp. **DYNA**, Medellín, v. 88, n. 218, p. 224–229, 2021.

[50] RANI, A. R. A Review on Management of Soil Borne Plant Pathogens - *Sclerotium rolfsii* Sacc., *Rhizoctonia solani* Kuhn by using *Trichoderma* as a Biocontrol Agent. **Trends in Bioscience**, Bhopal, v. 10, n. 21, p. 4051–4056, 2017.

[51] SHAPIRO-ILAN, D. I.; GOUGE, D. H.; PIGGOTT, S. J.; FIFE, J. P. Application technology and environmental considerations for use of entomopathogenic nematodes in biological control. **Biological Control**, Cambridge, v. 38, n. 1, p. 124–133, 2006.

[52] SILVA, M. A. F. Da; MOURA, K. E. De; MOURA, K. E. De; SALOMÃO, D.; PATRICIO, F. R. A. Compatibility of *Trichoderma* isolates with pesticides used in lettuce crop. **Summa Phytopathologica**,

Jaguariúna, v. 44, n. 2, p. 137–142, 2018.

[53] SPADARO, D.; GULLINO, M. L. Improving the efficacy of biocontrol agents against soilborne pathogens. **Crop Protection**, Amsterdam, v. 24, n. 7, p. 601–613, 2005.

[54] SUNPAPAO, A.; CHAIRIN, T.; ITO, S. The biocontrol by *Streptomyces* and *Trichoderma* of leaf spot disease caused by *Curvularia oryzae* in oil palm seedlings. **Biological Control**, Cambridge, v. 123, n. 1, p. 36–42, 2018.

Capítulo 3

Brusone do trigo: mecanismos fisiológicos das plantas de trigo sob efeito de zinco

Cristiano Moreira
Roseline da Silva Coêlho
Felipe André Sganzerla Graichen

Resumo: O fungo *Magnaporthe oryzae* é o agente etiológico da brusone no trigo, uma doença incluída como fator limitante à expansão da triticultura brasileira, ameaçando a segurança alimentar em escala global devido a sua disseminação e ao seu acentuado potencial de dano, o que causa drástica redução de produção deste cereal. A utilização de plantas resistentes é uma opção para o controle desta doença, no entanto, não há cultivares que são resistentes ao total de variantes do patógeno. Por sua vez, a pulverização com fungicidas não é economicamente viável. Por isso, os agentes indutores de resistência são utilizados visando o controle da doença, pois ativam sinalizações de defesa durante o processo infeccioso. O zinco reduz a severidade de doenças em plantas de origem fúngica pela sua participação em mecanismos celulares envolvidos em respostas de resistência da planta ao ataque do patógeno. Nesta revisão, são examinados aspectos associados a participação do zinco como um agente indutor de resistência em plantas. Os mecanismos fisiológicos das plantas de trigo sob efeito de zinco associados as respostas de resistência a brusone são abordadas e discutidas.

Palavras-chave: *Magnaporthe oryzae,* Papila, *Pyricularia oryzae,* Resposta hipersensível, *Triticum aestivum* L.

INTRODUÇÃO

1. BRUSONE NA TRITICULTURA

O trigo (*Triticum* spp.) é uma cultura de inverno e de interesse econômico, utilizada na alimentação humana ou na produção de forragem (CONAB, 2017). No Brasil, a área plantada com trigo concentra-se na região Sul, entretanto, a triticultura abrange diversas regiões no país, devido a seleção de cultivares adaptadas, a busca dos produtores em expandir a atividade agrícola e promover a sustentabilidade na propriedade rural (Kuhnem et al., 2020). Embora a área plantada com trigo no Centro-Oeste tenha aumentado na safra do ano de 2020 com relação à safra do ano de 2019, de maneira geral, dentre outros fatores, a brusone tem limitado a expansão da triticultura no Cerrado, sendo a principal doença desta cultura e de alto potencial de dano (Ceresini et al., 2019).

O primeiro relato mundial de brusone no trigo a campo foi no Brasil, em Londrina no estado do Paraná, no ano de 1985, momento em que a maior parte das cultivares da região eram suscetíveis a *Magnaporthe oryzae* B.C. Couch (agente etiológico de brusone do trigo). Até o momento, não há cultivar resistente ao total de variedades do fungo, da mesma maneira, a utilização de fungicidas não tem sido economicamente viável por diversos fatores (Kumar et al., 2020). Em consequência, a cadeia produtiva de trigo demanda de novas abordagens para o controle de *Magnaporthe oryzae*.

Desde o primeiro relato de brusone no arroz, identificado na China no ano de 1673, vários trabalhos foram realizados para esclarecer os mecanismos de interação patógeno-hospedeiro, tornando-se, posteriormente, um modelo de estudo de patossistemas (Kumar et al., 2020). Por outro lado, na brusone do trigo, os mecanismos de resistência inatos induzidos pela planta durante a interação patógeno-hospedeiro restam a ser elucidados. Não obstante a lacuna de conhecimento deste patossistema, o genoma do trigo é relativamente grande o que dificulta o seu estudo (Zhong et al., 2015).

As condições ambientais favoráveis ao desenvolvimento de brusone são comuns em anos de *El niño*, o que tem dado lugar a epidemias de brusone no trigo ao longo dos anos em diversos estados brasileiros (Kumar et al., 2020). A produção de trigo irrigado no Cerrado é afetada negativamente devido às condições ambientais que favorecem o desenvolvimento de brusone no trigo nesta região (temperatura acima de 20 °C e duração de molhamento foliar superior a 10 h), tendo em poucos dias as espigas branqueadas (Ceresini et al., 2019).

Portanto, para contribuir no abastecimento nacional deste cereal, por meio do fortalecimento da triticultura, pesquisas direcionadas ao controle de brusone são fundamentais.

2. BIOLOGIA DE POPULAÇÃO DE BRUSONE DO TRIGO

O patógeno *Magnaporthe oryzae*, que causa a brusone do trigo, está inserido ao complexo de espécie que contém subgrupos específico-hospedeiro. Por exemplo, a brusone do trigo é geneticamente distinta em sua patogenicidade a brusone do arroz (Kato et al., 2000). (Maciel et al., 2014) verificaram que isolados que causam brusone no trigo (*Triticum* spp.), desenvolvem lesões em *Aegilops* spp., enquanto os isolados associados ao arroz, desenvolvem lesões apenas no arroz ou em outras gramíneas, exceto as supracitadas, não havendo, portanto, infecção por isolados de arroz em trigo ou vice-versa. A seleção de variedades do fungo patogênico ao trigo, pode ter sido resultado de fluxo gênico o que

permitiu a introgressão de segmentos cromossômicos de outras variedades do fungo específico-hospedeiro (Gladieux et al., 2018). Dessa maneira, há especiação contínua nesse fungo, e algumas linhagens podem fundir-se, hibridizar ou desaparecer (Kumar et al., 2020).

Evidência genéticas suportam a hipótese de que a brusone do trigo foi selecionada por meio de mudança de hospedeiro, dentre a população de *Pyricularia* que infecta *Lolium*, e que genes associados a suscetibilidade do trigo a esses isolados, estavam amplamente presente nas cultivares de trigo da região em que surgiu o primeiro caso de brusone no trigo a campo (Y. Inoue et al., 2017).

A reprodução sexuada é predominante no início da ocorrência de brusone no trigo, sendo possível combinações entre as variedades do fungo específico-hospedeiro com potencial de produção de peritécios contendo ascos com 70%-95% de ascósporos viáveis (Kumar et al., 2020). Posteriormente, a disseminação ocorrerá principalmente de maneira assexuada.

Os diferentes isolados do patógeno que causa a brusone em gramíneas quando inoculados em trigo, desenvolvem diferentes potenciais de infecção e especificidades entre as plantas das cultivares de trigo (Ceresini et al., 2018). Nos estudos de infecção cruzada de específico-hospedeiro de diferentes espécies de gramíneas, é possível verificar a existência de isolados do patógeno de brusone de triticale e cevada com patogenicidade em aveia, trigo e centeio, mas não patogênico ao arroz, sorgo, milho, milheto, cana-de-açúcar, e *Brachiaria brizantha* (Kumar et al., 2020). (Zellerhoff et al., 2006)) verificaram a existência de resistência do tipo não-hospedeiro de plantas de cevada a isolados de brusone de *Digitaria* sp., enquanto teve fenótipo suscetível aos isolados de trigo, arroz, milho ou *Eleusine*.

A presença de duas populações distintas (com predominância de reprodução sexuada ou assexuada) que causam brusone no trigo no Brasil, pôde ser verificada por meio de análises moleculares, sendo possível distinguir a população que causa brusone no trigo no estado do Paraná com predominância de reprodução assexuada, enquanto no estado de Mato Grosso do Sul a população de brusone do trigo esteve associada principalmente à reprodução sexuada, portanto, com maior variação de isolados e ausência de linhagens clone (Urashima et al., 2005).

Por meio de análises de populações de brusone do trigo a campo nas regiões centro-oeste, sudeste e sul do Brasil, verifica-se a existência de fluxo gênico em larga escala espacial, uma vez que não existe uma subdivisão clara entre as populações de brusone que infectam trigo a campo. Além disso, também foi possível observar a existência principalmente de reprodução assexuada, e dois *mating-type* que variaram em suas frequências. Assim sendo, a brusone no trigo inicialmente reproduz-se de maneira sexuada, e posteriormente, dispersa clones por meio de reprodução assexuada (Maciel et al., 2014). Esse fluxo gênico entre as populações de brusone do trigo geograficamente distante ocorre principalmente devido ao transporte de sementes infestadas, ou propágulos disseminados pelo vento que podem percorrer longas distâncias. Segundo (Urashima; Leite; Galbieri, 2007), os conídios desse fungo podem atingir campos distantes a pelo menos 1000 m da fonte de inóculo.

3. IDENTIFICAÇÃO E DIAGNOSE DE BRUSONE DO TRIGO

As infecções em folhas causadas por *Magnaporthe oryzae* inicialmente são inconspícuas. Pelo fato de ser um fungo hemibiotrófico, não exibe sintoma até seu estádio necrotrófico, então, aproximadamente, a partir do terceiro dia do início da infecção em folhas, lesões de aspecto encharcado a verde acinzentado podem ser visualizadas, com o desenvolvimento das lesões o seu centro torna-se cinza devido a produção de esporos. As lesões podem estar associadas a uma margem marrom-escuro a marrom-avermelhado contendo ou não a halos cloróticos. As lesões individualmente são de formato elíptico, e dependendo do nível de resistência da planta, as lesões podem coalescer e destruir completamente o tecido afetado (Rios et al., 2013).

Todos os tecidos da parte aérea do trigo são suscetíveis a desenvolverem sintomas de brusone, como folhas, colmo, espigas e ráquis (Goulart et al., 2007). A infecção de *Magnaporthe oryzae* em plântulas de trigo pode ter início no coleóptilo, colmo e nas primeiras folhas emitidas após a emergência da plântula. Posteriormente, o resíduo vegetal a campo servirá como fonte de inóculo as folhas basais de plantas adultas.

Os sintomas em espigas são proeminentes comparados aos sintomas em folhas. As espigas tornam-se totalmente branqueadas acima do ponto da infecção em aproximadamente sete dias (Kumar et al., 2020). No ponto de infecção, desenvolvem os conídios do fungo, deixando uma coloração acinzentada. A depender do nível de resistência da cultivar e do momento da infecção, as lesões nas espigas podem ter formato elíptico ou produzir grãos deformados e abaixo do peso esperado, ou, até mesmo não produz grão algum (Saharan et al., 2016). Quando as infecções ocorrem durante o florescimento e formação dos grãos as perdas são significativas (Goulart et al., 2007). Isso porque as infecções em ráquis ou pedúnculo impossibilita a passagem de fotoassimilados para a espiga, como resultado as espigas podem ter uma redução total na produção de grãos ou parcialmente, a depender do ponto inicial da infecção, estádio de desenvolvimento e nível de resistência da cultivar de trigo.

Com o desenvolvimento das lesões e sob condições ambientais favoráveis ao patógeno, conídios são produzidos em conidióforos aéreos na região central da lesão. Os conídios hialinos são piriformes, com três células, e podem ser visualizados em microscópio óptico. Por outro lado, outros métodos podem ser utilizados para realizar a diagnose de brusone no trigo, pois, existe a possibilidade de infecções estarem no período latente, dessa maneira, com ausência de sintomas aparentes, ferramentas que se baseiam de maneira molecular, no ácido nucleico ou amplificação isotérmica de DNA mediada por loop (LAMP), são utilizadas com fim de diagnose rápida (Kumar et al., 2020).

4. PROCESSO DE INFECÇÃO DE *MAGNAPORTHE ORYZAE*

A interação entre patógeno-hospedeiro é resultado de moléculas derivadas tanto da planta quanto do patógeno (Boyd et al., 2013; Kumar et al., 2020). Moléculas efetoras secretadas pelo patógeno no tecido da planta, são responsáveis pela patogenicidade ou agressividade no hospedeiro. Por outro lado, moléculas da planta reconhecem os efetores do patógeno e induzem resposta inatas de resistência (Boyd et al., 2013). Portanto, para que o patógeno tenha sucesso no desenvolvimento da infecção, uma série de eventos devem suceder-se: O conídio adere-se a superfície do hospedeiro por meio de secreções de seu ápice, germina e forma o tubo germinativo que reconhecerá a topografia da superfície foliar, ao final do tubo germinativo forma-se o apressório de formato de domo,

que irá possibilitar o desenvolvimento de hifa-primária, no interior da célula da epiderme abaixo ao apressório. Estabelecendo as relações parasitárias estáveis, o ciclo da infecção completa-se, permitindo que conídios sejam formados para novos ciclos de infecções que ocorrem na mesma planta ou em sua proximidade, levados pelo impacto da gota de água da chuva ou pelo vento (Tucker & Talbot, 2001).

Quando o patógeno é cultivado em diferentes tipos de meio de cultivo, as fitotoxinas produzidas por ele variam a depender do meio utilizado (Tabela 1). Como resultado da produção de fitotoxinas (piricuralina, piricullariol e piriculol) de *Magnaporthe oryzae*, há o desenvolvimento de lesões necróticas em folhas de arroz (Kumar et al., 2020). Além do efeito fitotóxico, a fitotoxina piriculol também possui efeito inibitório da germinação do conídio (Kono et al., 1991).

As fitotoxinas produzidas por *Magnaporthe oryzae* são determinantes na patogenicidade, embora haja exceções, isolados de brusone de *Digitaria* spp. que produziram Pirichalasin H desenvolveram lesões nas plantas, enquanto aqueles isolados que não produziram essa fitotoxina, não desenvolveram lesão alguma (Tsurushima et al., 2005). Além dessas fitotoxinas supracitadas, também é produzida por *Magnaporthe oryzae* o ácido tenuazoico, que é um indutor de lesões necróticas marrom em folhas de arroz (Kumar et al., 2020). De maneira similar, o ácido terrestrico produzido por *Magnaporthe oryzae* está associado ao amarelamento de folhas de arroz, inibição do crescimento de raízes e perfilhos, o que pode ser resultado de seu efeito inibitório na fotossíntese (Nukina, 1988).

Tabela 1. Metabólitos secundários produzidos por diferentes isolados de *Magnaporthe oryzae*

Metabólitos secundários produzidos por diferentes isolados de *Magnaporthe oryzae* após 14 dias de desenvolvimento em três tipos de meio de cultivo a 26°C		
Meio de Ágar Czapek	**Meio de Aveia**	**Meio de Farelo de Trigo**
α-Teralones	Nitrobenzil	α-Ácido picolínico
Ácido terrestrico	α-Tetralones	Piriculol
Ácido benzóico	Ácido benzóico	Dihidropiriculol
Ácido furóico	Ácido tenuazóico	Ácido terrestrico
Piricularina+	α-Ácido picolínico	Ácido tenuazóico
Acetamido	Piriculol	Piriculamida+
Ácido acético	Epipiriculol	
α-Ácido picolínico	Dihidropiriculol	
Piriculol	Ácido terrestrico	
Ácido carboxílico	Piricullariol+	
Pirichalasin H+		

+Composto produzido apenas no meio de cultivo específico (Kumar et al., 2020).

A primeira etapa no processo de infecção está relacionada a adesão do conídio na superfície foliar. Um material amorfo e fibroso localizado entre a parede celular do conídio e a cutícula da folha do trigo permite a adesão do conídio a folha. Esse material também está localizado no tubo germinativo e apressório que são produzidos posteriormente a germinação do conídio (K. Inoue et al., 2007). Além disso, para auxiliar no processo de adesão e reconhecimento entre o fungo e o ambiente ao entorno, hidrofobinas estão localizadas na superfície de conídio e hifas do fungo (Wösten, 2001). Portanto, substância capazes de degradar essas moléculas de adesão, promovem redução de sítios infectivos pela redução de adesão de apressório e conídios.

O desenvolvimento do apressório é fundamental para que ocorra a penetração da hifa no tecido foliar. O aumento da pressão de turgor no interior do apressório exerce força mecânica no peg-de-penetração (pequeno orifício no centro da base do apressório, entre a cutícula e a parede celular do fungo), possibilitando o desenvolvimento da hifa-primária na célula da epiderme (Wilson & Talbot, 2009). Há a necessidade também do desenvolvimento de melanina entre a membrana plasmática e a parede celular do apressório, o que permite a continuidade da infecção. Além de que se faz necessário a autofagia do conídio e tubo germinativo após o desenvolvimento do apressório, sendo uma fonte de carbono (Ebbole, 2007). Associadamente a força mecânica, enzimas hidrolíticas degradam os componentes da epiderme do hospeiro, incluindo a cutícula cerosa e parede celular. (Van Vu et al., 2012) desenvolveram inóculos de brusone incapazes de produzirem enzimas hidrolíticas, o que resultou em menor desenvolvimento de lesões nas folhas de trigo e indução de produção de papila nos sítios de infecção.

De maneira geral, após o desenvolvimento de hifa-primária no interior da célula da epiderme, a hifa ramifica-se, de maneira intra e/ou intercelular, para as células adjacentes. Toxinas não específica ao hospedeiro são produzidas pelo fungo, o que causa necrose do tecido foliar, disponibilizando nutrientes ao patógeno e possibilitando a produção de esporos (Rodrigues et al., 2005), o que pode levar aproximadamente cinco dias em folhas de trigo, permitindo novos ciclos de infecção.

Os aspectos citológicos das interações de resistência não-hospedeiro (incompatíveis) e resistência do hospedeiro (compatíveis), foram avaliados por (Araujo et al., 2016) para isolado de brusone do arroz e do trigo. Os autores verificaram que os isolados foram específicos aos seus respectivos hospedeiros, não havendo, portanto, infecção cruzada. Dessa maneira, para as interações compatíveis, o fungo penetrou e colonizou as células da epiderme e as células adjacentes a primeira célula. Enquanto em interações incompatíveis (isolado de arroz em trigo e vice-versa), o fungo não penetrou a célula da epiderme ou colonizou as células adjacentes, quando foi capaz de fazê-lo, as hifas ficaram aprisionadas na primeira célula invadida da epiderme. Além disso, as interações incompatíveis, estiveram associadas à produção de granulação celular, e aposições da célula da epiderme abaixo ao apressório.

5. BASE GENÉTICA DA INTERAÇÃO *MAGNAPORTHE ORYZAE*-TRIGO

A resistência a brusone é classificada como completa (qualitativa) ou parcial (quantitativa). A resistência qualitativa é controlada por um único gene (R) direcionada a isolados específico-hospedeiro, portanto, não-hospedeiro. Por outro lado, a resistência quantitativa é controlada por vários genes de efeito menor com relação ao gene R. Portanto, a brusone no trigo há especificidade isolado-cultivar de maneira gene-a-gene (AMORIM et al., 2018). Para cada gene na planta que confere resistência ao patógeno, há um gene no patógeno que confere patogenicidade ao hospedeiro (Flor, 1956).

Em plantas de trigo, nove genes de resistência foram identificados para a brusone. Há, portanto, genes de resistência não-hospedeiro no trigo para isolados de outras espécies de gramíneas: O gene *Rmg1* confere resistência em plantas de trigo durante todos seus estádios fenológicos, em uma ampla faixa de temperatura, a isolado de Aveia, que contenham o gene de avirulência *PWT4* (Hau et al., 2007). Os genes *Rmg4* e *Rmg5* conferem resistência aos isolados de *Digitaria*, entretanto, são eficientes a temperatura de 22 °C, enquanto a 26 °C esses genes de resistência são ineficientes (Nga et al., 2009). O gene *Rmg6* reconhece o gene de avirulência *PWT3* de isolados de *Lolium* e está relacionado ao surgimento de variedade do fungo virulento ao trigo, uma vez que a cultivar de trigo Anahuac, lançada no início da década de 1980, não continha esse gene, sendo suscetível aos isolados de *Lolium*, possibilitando isolados do patógeno com gene de virulência (*pwt3*) ao trigo (Y. Inoue et al., 2017).

Os genes de resistência de hospedeiro do trigo, aos isolados de brusone de trigo são: *Rmg2* e *Rmg3*, encontrados nas cultivares de trigo comum e conferem resistência em plântulas. No entanto, isolados de brusone do trigo capazes de causar lesões em cultivares com esse gene, foram identificados (Cruz; Valent, 2017). Os genes *Rmg7* e *Rmg8* foram identificados em trigo tetraploide, conferindo resistência a brusone tanto em folhas quanto em espiga. O gene do patógeno de avirulência *AVR-Rmg8*, também é reconhecido pelo gene *Rmg7* do trigo, sugerindo que são genes de resistência homólogos (Anh et al., 2018). Além dos genes supracitados, o segmento cromossômico 2NS/2AS oriundo de *Aegilops ventricosa*, confere resistência a vários isolados de brusone do trigo (Cruz et al., 2016). Por último, o gene *RmgGR119*, identificado por(Wang et al., 2018)), também conferiu resistência no trigo aos isolados de brusone, estando associado ao gene *Rmg8* nas cultivares de trigo avaliadas.

6. EFEITO DE BRUSONE NA FISIOLOGIA DO TRIGO

As plantas têm mecanismos de defesa contra os patógenos que podem ser estruturais e bioquímicos. Os mecanismos inatos de resistência estão em todas as células da planta e são capazes de reconhecer moléculas do patógeno, produzindo respostas de resistência nos sítios de infecção (Amorim et al., 2018).

Dentre os fatores da fisiologia de plantas de trigo que são alterados pela infecção de *Magnaporthe oryzae*, o sistema antioxidante das células tem fundamental importância, uma vez que o desequilíbrio entre a produção e remoção de espécies reativas de oxigênio, resulta em dano a moléculas essenciais como o DNA, lipídeo e proteínas (Apel & Hirt, 2004). A infecção pelo patógeno aumenta a concentração de espécies reativas de oxigênio no interior da célula, sendo o superóxido um dos primeiros a ser produzido (Fortunato et al., 2015). Portanto, as respostas inatas de resistência induzidas pela planta, estão associadas ao metabolismo antioxidante, entre as espécies reativas de oxigênio e moléculas que as degradam (Debona, Rodrigues, Rios, Nascimento, et al., 2014).

As moléculas capazes de converter espécies reativas de oxigênio a moléculas não reativas, podem ser enzimas ou não. Dentre elas, a Superóxido Dismutase é uma das primeiras moléculas ativas para prevenir o estresse oxidativo, convertendo superóxido em peróxido de hidrogênio e oxigênio. Em folhas de trigo inoculadas com brusone, houve aumento na atividade da Superóxido Dismutase em resposta a produção de superóxido (Debona, Rodrigues, Rios, Martins, et al., 2014). Uma vez convertido o superóxido a peróxido de hidrogênio, a enzima catalase reduz a concentração de peróxido de hidrogênio no interior celular.

A resposta hipersensível é uma resposta de resistência robusta, uma vez que restringe o desenvolvimento do patógeno no estádio inicial da infecção. A morte-celular no sítio de infecção é acompanhada pela produção de aposições, produção de compostos fenólicos e fitoalexinas, que se acumulam ao entorno do sítio de infecção e locais de tecido saudável (Jain & Khurana, 2018).

7. EFEITO DO ZINCO NA SEVERIDADE DE DOENÇA DE PLANTAS

O zinco é um micronutriente vegetal, fato que torna a fertilização com zinco indispensável durante o ciclo da cultura, no entanto, foi verificado a associação entre pulverização com zinco e a redução de severidade de brusone no trigo (Moreira et al., 2020). Ademais, essa característica de essencialidade resultou em mecanismos celulares de absorção e armazenamento no interior celular (Faquin, 2005).

O zinco para ser utilizado como cofator em proteínas deve estar no seu estado elementar (Zn^{2+}) no citosol. A depender de sua utilização, o zinco é armazenado no vacúolo até o momento que é redistribuído para regulação da concentração de íons de zinco no citoplasma celular (Pita-Barbosa et al., 2019). Além disso, a concentração de íons de zinco na célula está associada a morte celular programada em plantas (Cabot et al., 2019). As espécies reativas de oxigênio são efêmeras nas células devido ao seu potencial de dano nas organelas, então, para ser utilizada como uma maneira de sinalização celular, há produção de moléculas mais estáveis, em resposta à produção de espécies reativas, que possibilitam a sinalização entre o cloroplasto e o núcleo, durante o processo de morte celular, com a participação de moléculas dependentes de zinco no cloroplasto (Woodson, 2019).

Em trabalho realizado com a aplicação em solução de zinco em trigo, houve redução das clorofilas nas folhas naquelas com maior concentração de zinco em relação àquelas plântulas não fertilizadas, sendo este o resultado da redução da síntese destes pigmentos fotossintetizantes ou da degradação do transporte de elétrons na fotossíntese, pelo fato de que o zinco repele outros metais com capacidade de oxi-redução (Li et al., 2013). Sendo assim, soluções mais concentradas em zinco desorganizam os cloroplastos e alteram negativamente a fotossíntese. Embora o zinco seja estrutural para a enzima Cu-Zn-SOD, não houve alteração de sua produção em raízes e folhas de colza quando fertilizadas com Zn (C. Wang et al., 2009). Em trigo, os tratamentos com zinco não alteraram a atividade desta enzima nas folhas das plântulas, sendo o oposto verdadeiro para as raízes, em que ocorreu o acúmulo de H_2O_2 e intensa atividade da enzima (Li et al., 2013).

Para converter H_2O_2 em moléculas não reativas, ocorre a intermediação das enzimas peroxidase e catalase. A nutrição mineral de zinco em trigo aumentou a atividade das ezimas supracitas em folhas de plântulas, mas apenas de catalase em raízes. Portanto, o aumento das atividades destas enzimas, resultam na detoxificação do H_2O_2 das células das folhas em plântulas de trigo nutridas com zinco (Li et al., 2013). O efeito do zinco na atividade de enzimas antioxidativas depende da espécie da planta, órgãos e a concentração da solução de zinco (Deepak et al., 2010).

Os íons metálicos levam ao aumento da concentração de açúcar e proteína solúvel nas células, especialmente em órgão da parte aérea. Sendo o mesmo verdadeiro ao zinco, a adubação deste elemento aumentou a concentração de prolina nas folhas do trigo com relação às não fertilizadas com este mineral (Li et al., 2013). O papel protetivo da prolina ocorre com sua habilidade na detoxificação de espécies reativas de oxigênio e inibir a peroxidação lipídica. A participação desse aminoácido em reações nas proteínas de defesa a estresse na planta, ocorre durante a explosão oxidativa nas células, o que resulta no fortalecimento da parede celular, e assim, na defesa da planta. Sendo a participação da parede celular vegetal na defesa aos patógenos pela secreção de enzimas que degradam a parede celular do patógeno, ou por remodelação estrutural e química nos locais de infecção: formação de papila com acúmulo de lignina, calose, fenilpropanóides, proteínas relacionadas a patogênese, espécies reativas de oxigênio e *cross-linked* com prolina (Kumar et al., 2020).

A fertilização mineral com silício em trigo, reduziu a severidade da brusone devido ao aumento da concentração de moléculas que convertem espécies reativas de oxigênio a formas não reativas (Rodrigues et al., 2017). Por outro lado, a severidade da brusone foi maior em plantas de trigo fertilizadas com Mg, o que esteve associado a redução da concentração de Ca nas folhas que tiveram pulverização de magnésio, uma vez que o cálcio é necessário na estabilização da lamela média, local de ação de enzimas pectolíticas produzidas pelo fungo. No mesmo estudo, foi verificado que o tecido assintomático também teve redução da taxa fotossintética, possivelmente devido a toxinas produzidas por *Magnaporthe oryzae* nas folhas do trigo (Debona et al., 2016).

Em experimento de dois anos realizado com trigo a campo, em área de ocorrência natural de *Drechslera tritici-repentis*, a pulverização de boro e manganês na folha bandeira não alterou a severidade da doença, o oposto ocorreu para aplicação foliar de zinco, havendo redução da severidade da doença (Simoglou & Dordas, 2006). Em outro estudo utilizando fertilização com zinco em solução para plantas de trigo, houve um aumento na quantidade desse íon na parte aérea, e redução da concentração de Mn, consequentemente, houve redução da severidade por *Fusarium solani* no trigo, o que manteve a permeabilidade normal das raízes (Khoshgoftarmanesh et al., 2010).

As concentrações de zinco adequadas ao desenvolvimento vegetal podem ser alteradas pelo excesso de fósforo e calcário no solo, indisponibilizando, dessa maneira, o zinco para a absorção radicular das plantas de trigo cultivado. Em solos de teor adequado deste micronutriente (1,5 $mg.dm^{-3}$, extraído por Mehlich-1), a fertilização com zinco tem pouco efeito nas características agronômicas do trigo, em relação àquelas cultivadas em solo de concentração em nível de deficiência (0,13 $mg.dm^{-3}$) (Zoz et al., 2012), se desconsiderado seu efeito na severidade de brusone. Sendo recomendada a aplicação de 108 $g.ha^{-1}$ de Zn, no caso de deficiência, utilizando pulverizador de CO_2, deve-se calibrar a 0,8 Mpa, no volume de 165 $L.ha^{-1}$.

8. FATORES QUE INTERFEREM NA ABSORÇÃO RADICULAR E FOLIAR DE ZINCO

Alguns fatores podem induzir a deficiência de zinco em plantas, sem que o resultado seja oriundo do processo de absorção, mas aos fatos que seguem: Deficiência de zinco induzida pelo fósforo pela precipitação do P na superfície da raiz, quando Ca está presente e o pH está perto de 7,0. Bloqueio no transporte do zinco para a parte aérea devido à possível precipitação pelo fosfato no xilema. A produção de matéria seca, média de três solos, aumentou com a aplicação de fósforo o que provocou diminuição do teor de Zn da parte aérea da cevada, usada como planta de ensaio, que leva a supor que doses maiores de P diminuiriam a produção de matéria seca devido ao efeito de diluição do zinco cujo teor desceria ao nível de deficiência. O teor de Zn disponível no solo não diminui com a aplicação de P, indicação de que este efeito do P não é consequência da formação de formas menos aproveitáveis pela planta (Lopez G. & Malavolta, 1974).

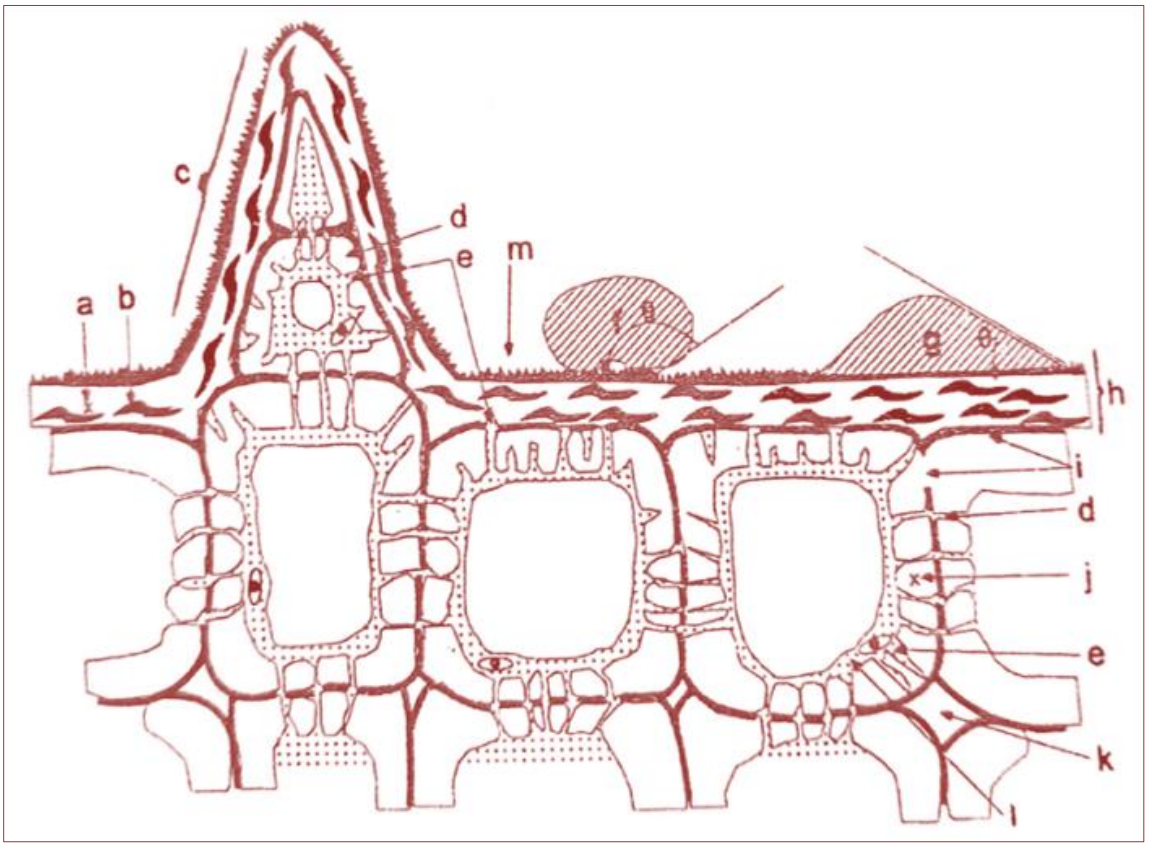
O efeito entre os íons é observado em doses moderadas de cálcio que aumentam a absorção de cátions de maneira geral, possivelmente por abrir portas de canais iônicos. Outro exemplo desta interação ocorre quando a matéria seca do cafeeiro aumentou com a aplicação de Zn apenas quando em conjunto do B. Além disso, os níveis de carboidratos respiráveis das células interferem na absorção de íons. O citoplasma e vacúolo tem uma limitada capacidade de acumular sais. Sendo, então, a absorção, translocação, acumulação e uso dos elementos minerais controladas por fatores genéticos (Faquin, 2005).

Os micronutrientes catiônicos podem ocorrer em forma de quelados, ao qual um agente quelante envolve o íon metálico carregado positivamente, e passa então, ser carregado negativamente. Ou na forma associada aos metalóforos: aminoácidos com propriedades ligantes aos micronutrientes catiônicos metálicos, secretados na rizosfera por plantas ou microrganismos no solo, os mais comuns são os ácidos mugineico e nicotianamina (Taiz et al., 2017).

As folhas também são órgãos capazes em absorver nutrientes dissolvidos fornecidos a ela, sendo uma via utilizada na correção de deficiência em Zn, uma vez que os nutrientes metálicos aplicados via solo ficam em formas pouco disponível as plantas, como no trabalho de (Faquin, 2005; Franco; Mendes, 1954) em que a aplicação foliar de sulfato de zinco a 0,6% corrigiu a deficiência em cafeeiro. Para que ocorra a absorção foliar, após o contato do Zn com a epiderme, este elemento deve atravessar a cutícula cerosa e parede celular das células da epiderme por difusão, chegar à superfície externa do plasmalema e movimentar através da membrana celular, citoplasma e, eventualmente no vacúolo, após atravessar o tonoplasto (Figura 1). A cutícula pode reter parte do elemento que atravessa. A retenção de micronutrientes catiônicos obedece a ordem decrescente: Cu > Zn > Mn. A uréia tem a característica de difusão facilitada, rompendo ligações de éster e de éter da cutícula, abre poros na malha de rede lipídica, ajudando a entrada deste elemento e dos que o acompanham. Produtos outros como os defensivos podem ter sua absorção facilitada quando acompanhado pela uréia, resultando em maior eficiência do produto (Malavolta, 2006; Taiz et al., 2017).

Os micronutrientes por serem exigidos em pequenas quantidades, podem ser fornecidos via foliar com grande economia do produto. O caminhamento do elemento em solução até atingir os vasos condutores ocorre por vias apoplásticas e simplásticas. No caso do zinco, este pode ser transportado na forma orgânica de quelados, mesmo que aplicados em formas minerais. O zinco por sua vez, pode ficar adsorvido ou incorporado a cutícula e, o boro na parede celular, o que dificulta seu movimento na planta. Portanto o zinco é pouco móvel entre os órgãos da planta. Podem, no entanto, ser levados como quelados de aminoácidos não protéicos, como exemplo a molécula quelante de metal em plantas: nicotianamina (Faquin, 2005; Taiz et al., 2017).

Figura 1. Representação das células da epiderme e da cutícula da folha



a = cutícula, b = lamela de cera, c = pelo, d = plasmodesmata, e = ectodesmata, f = gota não molhante, g = gota molhante, h = cutícula, i = pectina, j = celulose, k = espaço intercelular, l = protoplasma, m = bastonetes de cera, Θ = ângulo de contato.

Adaptado de (Malavolta, 2006).

A temperatura interfere na absorção de zinco pelas folhas das plantas, houve um aumento de três vezes na absorção de zinco por folhas de cana-de-açúcar quando a temperatura foi elevada de 10 °C para 30 °C. Além disso a maior cinética de absorção ocorreu na concentração entre 0,2 e 1 mM de Zn na solução pulverizada. A tabela a seguir lista os fatores que influenciam em aspersões foliares nas plantas (Malavolta, 2006).

Tabela 2. Fatores que interferem na eficiência de pulverizações foliares

Classe	Fator*
Planta	Cera cuticular Tricomas, pelos Estômatos e células guardas Face adaxial e abaxial Idade da folha Turgor Umidade superficial Capacidade de troca catiônica Estado nutricional e reserva de carboidratos Cultivar Estádio de crescimento
Ambiente	Temperatura Luz Fotoperíodo Vento Umidade Hora do dia Potencial osmótico do meio da raiz Disponibilidade de nutrientes no solo ou no substrato
Solução pulverizada	Concentração Dose e frequência Elemento e composto (Sal, óxido, ácido, quelado) Íon acompanhante pH Polaridade (carga líquida) Componentes da mistura (inibição, sinergismo) Uréia Açucar Surfactantes (espalhantes, molhantes, adesivos, humectantes, dispersantes, emulsionantes) Técnica de aplicação

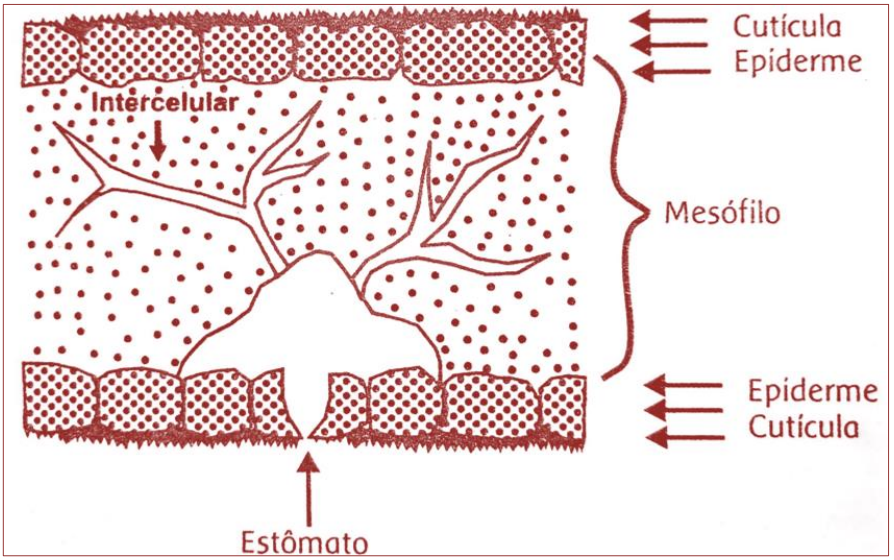
(Malavolta, 2006).

A cutícula é uma enorme barreira a penetração de soluções aquosas, assim como a membrana plasmática, já que é predominantemente lipídica. As lamelas de cera são cimentadas por cutina hidrofílica, o que por sua vez, facilita a passagem de solução. A cutina é constituída por ácidos graxos com carga predominantemente negativa, sendo separada da parede celulósica por pectina, derivada do ácido poligalacturônico (Taiz et al., 2017).

A absorção diminui com o espessamento da camada cerosa devido à hidro-repelência e, dentro de limites, com o aumento na hidratação da cutícula: torna-se menor o gradiente de concentração (maior diluição do soluto aplicado) em relação ao espaço livre aparente, o que prejudica a parte passiva do processo geral de absorção (Faquin, 2005).

Tricomas e pelos são projeções da cutícula e das células da epiderme contendo prolongamento citoplasmático, os quais aumentam a superfície de contato entre a folha e a solução aplicada, com isso aumentando a absorção (Malavolta, 2006).

Figura 2. Representação simplificada de corte transversal da folha



Adaptado de (Malavolta, 2006).

Os gases presentes nos estômatos dificultam a absorção de soluções, sendo necessário recorrer a detergentes que quebrem a tensão superficial da água. Dessa maneira, o estômato quando aberto aumenta a superfície de contato com soluções, sendo a cutícula menos espessa na cavidade estomática. As células guardas fecham a abertura estomática na deficiência de K, reduzindo a absorção de aspersões foliares (Taiz et al., 2017).

Na face abaxial da folha a cutícula é mais delgada em relação a face adaxial, sendo a absorção mais eficiente na face inferior da folha. A idade da folha interfere de diversas maneiras na absorção dos minerais pulverizados, sendo importante destacar aqui a menor atividade metabólica devido a ser mais fonte que dreno, e cutícula mais grossa. A umidade se for muito baixa resultará no secamento da solução aplicada e se for muito alta na saída do elemento da superfície foliar. Ao passo que o grau de hidratação da cutícula é afetado pela umidade, que se muito seca, dificulta a absorção (Malavolta, 2006).

A troca catiônica é um dos mecanismos passivos de absorção da folha, quanto maior a CTC, maior a absorção, da mesma maneira que ocorre no solo e raiz. O pH da solução pulverizada pode causar o aparecimento de cargas negativas (Malavolta, 2006).

A concentração da solução determina a velocidade de absorção, levando em conta o elemento, que por sua vez variam em raio iônico, grau de hidratação, da interação com a membrana, sendo o zinco com maior velocidade entre os cátions. No cafeeiro, como regra geral, utiliza-se em pulverizações foliares a fonte mineral de sulfato de zinco a 0,4 – 0,6% para volume de 200 – 400 $L.ha^{-1}$, em volumes menores como 40 L, usa-se 4%. O determinante da concentração é a quantidade de produto que se aplica por unidade de área foliar (Faquin, 2005; Malavolta, 2006).

Quando quelados os cátions, passam a ser ânions. Em citros, os quelados foram mais eficientes que sulfato em fornecer Zn às plantas. Por outro lado, quando Mn e Zn estiveram associadas ao Cl^- do cloreto de potássio, foi verificada maior absorção de zinco do sulfato. O efeito favorável na absorção do zinco causada pelo Cl^- é de tal maneira que pode levar a toxidez por zinco. Isso ocorre pelo estímulo da ATPase da membrana causada pelo cloreto (Malavolta, 2006).

De maneira geral o pH abaixo de 7,0 na solução facilita absorção de ânions, enquanto os cátions são favorecidos em pH acima da neutralidade. Portanto, quanto maior a concentração de H^+ no meio, menor será a absorção de zinco.

Nos casos de inibição competitiva em que dois elementos se combinam com o mesmo sítio ativo do carregador, é possível aumentar a absorção do nutriente de interesse aumentando sua concentração com relação à daquele que o inibe. O cafeeiro, quando infectado por ferrugem, realiza-se o controle com produtos a base de cobre, como sulfato e oxicloreto. Ocorre, então, deficiência de B e de Zn. Aumentando-se a concentração de sulfato de zinco de 0,6% para 0,8%, consegue quebrar a inibição causada pelo Cu. Para o B a inibição é do tipo não competitiva, sendo que o boro se prende a sítios não ativos impedindo que o Zn se prenda aos sítios específicos. Para o cobre, o zinco desloca este elemento do grupo ativo do carregador, ou então vence a competição. Portanto, aumentar a concentração do zinco não inibe o B, mas inibe o cobre (Malavolta, 2006).

Há sinergismo quando a presença de um elemento faz aumentar a absorção do outro. Assim o Ca^{+2} em concentração relativamente baixa causa aumento da absorção de qualquer outro elemento, cátion ou ânion. O Mg aumenta a absorção de P e este a do Mo (Taiz et al., 2017).

Os surfactantes reduzem a tensão superficial das gotas da solução, promovem maior molhamento cuticular. Além disso, podem deslocar gases da cavidade estomática resultando no aumento da absorção. Vários tipos de surfactantes são conhecidos: os detergentes quebram a tensão superficial; molhantes aumentam a adesão à cutícula; os adesivos impedem o escorrimento; humectantes retardam a evaporação; os dispersantes aumentam a estabilidade da suspensão; e emulsionantes tem efeito semelhante ao dispersante (Malavolta, 2006).

A absorção do zinco ocorre como cátion bivalente, sendo de 0,05 – 0,25 $mmol.m^{-3}$ a concentração suficiente para as plantas. Acima de 3 – 6 $mmol.m^{-3}$ observa-se toxidez. Na solução do solo, de maneira geral, a concentração varia entre 0,01 a 1,0 $mmol.m^{-3}$. A espécie iônica mais absorvida é ($[Zn\ (H_2O)_6]^{2+}$). A absorção por raízes destacadas de cevada é linear nas duas primeiras horas, 60% do total devido a difusão e ligação no apoplasto e o restante correspondendo à absorção ativa através do plasmalema. Em geral, existem moléculas com afinidade aos íons metálicos (metalóforos) e canais não específicos envolvidos na absorção do zinco. O Zn do solo preso ao complexo de troca pode ser absorvido por exsudados radiculares (aminoácidos, açucares, fenóis). As micorrizas contribuem para absorção de zinco e de outros elementos, devido a este fato por exemplo, genes envolvidos na suscetibilidade ao míldio também estão associados a interação com micorrizas, assim persistem no genoma da planta entre gerações (Jacott et al., 2020). Portanto, utilizando técnicas conjuntas as inatas da planta, como adubação foliar de zinco, visam contribuir no desenvolvimento da defesa vegetal ao patógeno.

A absorção do Zn pelas raízes e pelas folhas, assim como o transporte, é influenciado pelo acompanhante, obedecendo a seguinte ordem na absorção foliar: cloreto > nitrato = quelado > sulfato. Entretanto, as folhas tratadas apresentavam as seguintes porcentagens do total absorvido: Cloreto – 96%; Sulfato – 78%; Nitrato – 92%; Quelado – 71%. Portanto, em forma de quelado a maior parte do que é absorvido é transportado, não sofrendo precipitação nos vasos condutores (Malavolta, 2006).

Os íons presentes na mesma solução influenciam em sua absorção. O cálcio em baixas concentrações apresenta efeito sinérgico. Ocorrendo efeito inibitório quando em altas concentrações. O Mg apresenta efeito inibidor mais acentuado. O B aumenta a absorção radicular, mas reduz a foliar. O P em altas concentrações induz a deficiência devido a vários efeitos: insolubilização do zinco na superfície da raiz em função do pH e na presença do Ca, inibição não competitiva, precipitação no xilema e menor transporte a longa distância. O cobre diminui a absorção porque o cobre e o zinco competem pelo mesmo carregador ou canal protéico. Além disso, Mn e Mo também resultam na menor absorção de Zn, quando na mesma solução nutritiva.

O transporte a longa distância ocorre em grande parte na forma de complexos entre o Zn e os ácidos cítrico e málico. A redistribuição deste elemento metálico é geralmente baixa, dependendo, entretanto, do nível do elemento na planta. No floema e xilema o zinco fica preso a compostos orgânicos, denominados fitoquelatinas (peptídeos de cadeia curta contendo unidades repetidas de glutamina e cisteína) (Malavolta, 2006).

As funções em que o zinco participa pode ser resumida de maneira geral: Na fotossíntese, constituindo a anidrase carbônica localizada no citoplasma e no cloroplasto, facilitando a transferência do C para a fixação (Hänsch & Mendel, 2009). Na respiração, a atividade respiratória diminui quando falta Zn: a enzima aldose depende de Zn para funcionar (Hanikenne & Nouet, 2011). Reduz a glicólise e transporte de elétrons, resultando em menor produção de ATP. Redução de síntese, como consequência da redução fotossintética a menor produção de fotoassimilados, assim como de aminoácidos e proteínas (Pilon et al., 2009).

Na deficiência de zinco ocorre menor produção de proteínas por falta de RNAs mensageiro e transportador. Controle hormonal, na produção de ácido indolilacético a partir do triptofano. Ocorrendo a redução dos níveis de AIA nas condições de deficiência, devido ao aumento da oxidação do mesmo por maior atividade de peroxidase ou radicais de superóxidos livres. Além disso, na deficiência de zinco ocorre o acúmulo de nitrato por consequência da inibição de síntese de redutase de nitrato por deficiência em aminoácidos. O aumento da suscetibilidade a *Rhizoctonia* explicou-se de maneira geral, a redução dos níveis de AIA, RNA, fenóis, lignina e mais açucares e aminoácidos livres, além da desorganização da parede celular (Kliebenstein et al., 1999).

Usualmente o zinco encontra-se em adubos formulados N-P-K, P-K ou outras, assim são introduzidos a cultura, com exceção quando a adubação é foliar, na água de irrigação ou no tratamento de sementes, em que ocorrem outras fontes de zinco (Malavolta, 2006).

9. COMPONENTES DE RESISTÊNCIA DA FOLHA DE TRIGO

As respostas de resistência inatas induzidas pela planta são ativas ou passivas, também denominadas de pós-formadas e pré-formadas, ou seja, estão presentes antes da chegada do inóculo e posteriormente a sua chegada. As estruturas de defesa celular estão presentes nas células que ocorre a infecção, podendo também haver respostas de resistência de estruturas de defesa histológicas, de tecido à distância do sítio de infecção (Amorim et al., 2018).

Em resposta a formação de apressório do fungo, uma agregação citoplasmática no sítio de infecção é formada como estrutura de defesa celular da planta. Há no agregado citoplasmático, organelas utilizadas na síntese de aposições e papilas. De maneira similar, as aposições, ocorrem nos sítios de infecção, como resultado de alterações da célula da epiderme, substâncias alocadas nessa região atuam como recurso de resistência da planta à infecção do patógeno. Como as aposições, as papilas são formadas em folhas de trigo em resposta a infecção de brusone. São materiais heterogêneos depositados entre a membrana plasmática e parede celular sob o sítio de infecção, servindo como uma barreira física em resposta a penetração da hifa (Amorim et al., 2018).

Dentre os fatores de resistência bioquímicos pós-formados, as espécies reativas de oxigênio acumulam-se rapidamente no início do processo infeccioso em interações compatíveis ou não (Kaurilind et al., 2015). As espécies reativas de oxigênio podem atuar diretamente no patógeno, promovendo o fortalecimento da parede celular no sítio de infecção por meio de ligações com proteínas estruturais e como indutor de moléculas de sinalização e resistência mais estáveis.

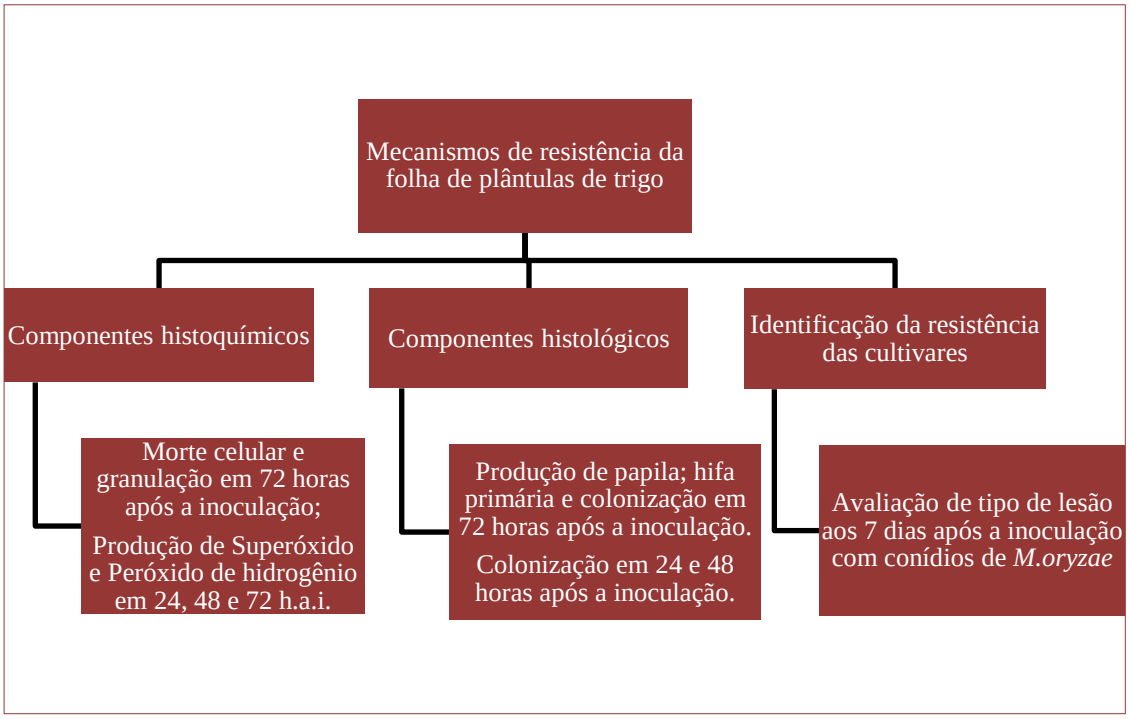
A resposta de hipersensibilidade promove a morte celular de uma ou poucas células, no local ou ao entorno do sítio de penetração da hifa, esta resposta de defesa induzida pela planta, impede o desenvolvimento do patógeno em seu estádio inicial de desenvolvimento da infecção, o que de maneira visual apresenta-se como uma pequena necrose pontual. Devido a oxidação de fenóis, a morte celular pode ser precedida de uma coloração marrom, tendo como característica também a agregação citoplasmática e acúmulo de compostos fenólicos e fitoalexinas, bem como alterações das concentrações iônicas (Amorim et al., 2018).

A resistência pode ser induzida com a pulverização de íons metálicos e envolve a ativação dos mecanismos latentes de resistência da planta. Podendo ou não ter a proteção da resistência induzida estendida a locais distantes ao local de indução. Quando a resistência é sistêmica, o caminho de sinalização envolvendo o ácido salicílico é associado a patógenos necrotróficos, enquanto aqueles envolvendo etileno e ácido jasmônico, estão associados a patógenos biotróficos (Amorim et al., 2018).

A sensibilização/pré-condicionamento é a utilização de moléculas que permitem as plantas ativarem as respostas de defesa mais rapidamente e efetivamente durante a infecção pelo patógeno. Trabalhos sugerem também que o efeito de pré-condicionamento pode ser herdado a progênie de plantas sensibilizadas (Amorim et al., 2018).

Os mecanismos de resistência da folha do trigo avaliados no presente trabalho foram: morte celular, granulação, produção de superóxido e peróxido de hidrogênio, papila, desenvolvimento fúngico e tipo de lesão (Figura 3).

Figura 3. Organograma das variáveis de resistência da folha de trigo avaliadas neste trabalho



REFERÊNCIAS

[1] AMORIM, L. ;, BERGAMIN FILHO, A. ;, & REZENDE, J. A. (2018). Manual de Fitopatologia: Princípios e conceitos (5a). Agronômica Ceres.

[2] Anh, V. L., Inoue, Y., Asuke, S., Vy, T. T. P., Anh, N. T., Wang, S., Chuma, I., & Tosa, Y. (2018). Rmg8 and Rmg7, wheat genes for resistance to the wheat blast fungus, recognize the same avirulence gene AVR-Rmg8. Molecular Plant Pathology, 19(5), 1252–1256. https://doi.org/10.1111/mpp.12609

[3] Apel, K., & Hirt, H. (2004). Reactive oxygen species: metabolism, oxidative stress, and signal transduction. Annual Review of Plant Biology, 55(1), 373–399. https://doi.org/10.1146/annurev.arplant.55.031903.141701

[4] Araujo, L., Soares, J. M., Corsi De Filippi, M. C., & Rodrigues, F. Á. (2016). Cytological aspects of incompatible and compatible interactions between rice, wheat and the blast pathogen Pyricularia oryzae. Scientia Agricola, 73(2), 177–183. https://doi.org/dx.doi.org/10.1590/0103-9016-2015-0169

[5] Boyd, L. A., Ridout, C., O'Sullivan, D. M., Leach, J. E., & Leung, H. (2013). Plant–pathogen interactions: disease resistance in modern agriculture. Trends in Genetics, 29(4), 233–240. https://doi.org/10.1016/j.tig.2012.10.011

[6] Cabot, C., Martos, S., Llugany, M., Gallego, B., Tolrà, R., & Poschenrieder, C. (2019). A role for zinc in plant defense against pathogens and herbivores. Frontiers in Plant Science, 10(October), 1–15. https://doi.org/10.3389/fpls.2019.01171

[7] Ceresini, P. C., Castroagudín, V. L., Rodrigues, F. Á., Rios, J. A., Aucique-Pérez, C. E., Moreira, S. I., Croll, D., Alves, E., de Carvalho, G., Maciel, J. L. N., & McDonald, B. A. (2019). Wheat blast: from its origins in South America to its emergence as a global threat. Molecular Plant Pathology, 20(2), 155–172. https://doi.org/10.1111/mpp.12747

[8] Ceresini, P. C., Castroagudín, V. L., Rodrigues, F. Á., Rios, J. A., Eduardo Aucique-Pérez, C., Moreira, S. I., Alves, E., Croll, D., & Maciel, J. L. N. (2018). Wheat Blast: past, present, and future. Annual Review of Phytopathology, 56(1), 427–456. https://doi.org/10.1146/annurev-phyto-080417-050036

[9] CONAB. (2017). Companhia Nacional de Abastecimento: a cultura do trigo. Equipe da Biblioteca

Josué de Castro.

[10] Cruz, C. D., Peterson, G. L., Bockus, W. W., Kankanala, P., Dubcovsky, J., Jordan, K. W., Akhunov, E., Chumley, F., Baldelomar, F. D., & Valent, B. (2016). The 2NS Translocation from Aegilops ventricosa Confers Resistance to the Triticum Pathotype of Magnaporthe oryzae. Crop Science, 56(3), 990–1000. https://doi.org/10.2135/cropsci2015.07.0410

[11] Cruz, C. D., & Valent, B. (2017). Wheat blast disease: danger on the move. Tropical Plant Pathology, 42(3), 210–222. https://doi.org/10.1007/s40858-017-0159-z

[12] Debona, D., Rios, J. A., Nascimento, K. J. T., Silva, L. C., & Rodrigues, F. A. (2016). Influence of magnesium on physiological responses of wheat infected by Pyricularia oryzae. Plant Pathology, 65(1), 114–123. https://doi.org/10.1111/ppa.12390

[13] Debona, D., Rodrigues, F. Á., Rios, J. A., Martins, S. C. V., Pereira, L. F., & DaMatta, F. M. (2014). Limitations to photosynthesis in leaves of wheat plants infected by Pyricularia oryzae. Phytopathology, 104(1), 34–39. https://doi.org/10.1094/PHYTO-01-13-0024-R

[14] Debona, D., Rodrigues, F. A., Rios, J. A., Nascimento, K. J. T., & Silva, L. C. (2014). The effect of silicon on antioxidant metabolism of wheat leaves infected by Pyricularia oryzae. Plant Pathology, 63(3), 581–589. https://doi.org/10.1111/ppa.12119

[15] Deepak, S., Shailasree, S., Kini, R. K., Muck, A., Mithöfer, A., & Shetty, S. H. (2010). Hydroxyproline-rich glycoproteins and plant defence. Journal of Phytopathology, 158(9), 585–593. https://doi.org/10.1111/j.1439-0434.2010.01669.x

[16] Ebbole, D. J. (2007). Magnaporthe as a model for understanding host-pathogen interactions. Annual Review of Phytopathology, 45, 437–456. https://doi.org/10.1146/annurev.phyto.45.062806.094346

[17] Faquin, V. (2005). Nutrição Mineral De Plantas. UFLA/FAEPE.

[18] Flor, H. H. (1956). The complementary genic systems in flax and flax rust. In Advances in Genetics (Vol. 8, Issue C, pp. 29–54). https://doi.org/10.1016/S0065-2660(08)60498-8

[19] Fortunato, A. A., Debona, D., Bernardeli, A. M. A., & Rodrigues, F. Á. (2015). Changes in the antioxidant system in soybean leaves infected by Corynespora cassiicola. Phytopathology, 105(8), 1050–1058. https://doi.org/10.1094/PHYTO-10-14-0283-R

[20] FRANCO, C. M. ;, & MENDES, H. C. (1954). Deficiências de Zn em cafeeiro. Boletim Da Superintendência Dos Serviços de Café, 29(334), 34–39.

[21] Gladieux, P., Condon, B., Ravel, S., Soanes, D., Maciel, J. L. N., Nhani, A., Chen, L., Terauchi, R., Lebrun, M.-H., Tharreau, D., Mitchell, T., Pedley, K. F., Valent, B., Talbot, N. J., Farman, M., & Fournier, E. (2018). Gene flow between divergent cereal- and grass-specific lineages of the rice blast fungus Magnaporthe oryzae. MBio, 9(1), e01219-17. https://doi.org/10.1128/mBio.01219-17

[22] Goulart, A. C. P., Sousa, P. G., & Urashima, A. S. (2007). Danos em trigo causados pela infecção de Pyricularia grisea. Summa Phytopathologica, 33(4), 358–363. https://doi.org/10.1590/S0100-54052007000400007

[23] Hanikenne, M., & Nouet, C. (2011). Metal hyperaccumulation and hypertolerance: a model for plant evolutionary genomics. Current Opinion in Plant Biology, 14(3), 252–259. https://doi.org/10.1016/j.pbi.2011.04.003

[24] Hänsch, R., & Mendel, R. R. (2009). Physiological functions of mineral micronutrients (Cu, Zn, Mn, Fe, Ni, Mo, B, Cl). Current Opinion in Plant Biology, 12(3), 259–266. https://doi.org/10.1016/j.pbi.2009.05.006

[25] Hau, V. T. B., Hirata, K., Murakami, J., Nakayashiki, H., Mayama, S., & Tosa, Y. (2007). Rwt4, a wheat gene for resistance to Avena isolates of Magnaporthe oryzae, functions as a gene for resistance to Panicum isolates in Japan. Journal of General Plant Pathology, 73(1), 22–28. https://doi.org/10.1007/s10327-006-0320-x

[26] Inoue, K., Suzuki, T., Ikeda, K., Jiang, S., Hosogi, N., Hyong, G.-S., Hida, S., Yamada, T., & Park, P. (2007). Extracellular matrix of Magnaporthe oryzae may have a role in host adhesion during fungal penetration and is digested by matrix metalloproteinases. Journal of General Plant Pathology, 73(6), 388–398. https://doi.org/10.1007/s10327-007-0048-2

[27] Inoue, Y., Vy, T. T. P., Yoshida, K., Asano, H., Mitsuoka, C., Asuke, S., Anh, V. L., Cumagun, C. J. R., Chuma, I., Terauchi, R., Kato, K., Mitchell, T., Valent, B., Farman, M., & Tosa, Y. (2017). Evolution of the wheat blast fungus through functional losses in a host specificity determinant. Science, 357(6346), 80–83. https://doi.org/10.1126/science.aam9654

[28] Jacott, C. N., Charpentier, M., Murray, J. D., & Ridout, C. J. (2020). Mildew Locus O facilitates colonization by arbuscular mycorrhizal fungi in angiosperms. New Phytologist, 227(2), 343–351. https://doi.org/10.1111/nph.16465

[29] Jain, D., & Khurana, J. P. (2018). Role of pathogenesis-related (PR) proteins in plant defense mechanism. In Molecular Aspects of Plant-Pathogen Interaction (pp. 265–281). Springer Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-10-7371-7_12

[30] KATO, H., YAMAMOTO, M., YAMAGUCHI-OZAKI, T., KADOUCHI, H., IWAMOTO, Y., NAKAYASHIKI, H., TOSA, Y., MAYAMA, S., & MORI, N. (2000). Pathogenicity, mating ability and DNA restriction fragment length polymorphisms of Pyricularia populations isolated from Gramineae, Bambusideae and Zingiberaceae plants. Journal of General Plant Pathology, 66(1), 30–47. https://doi.org/10.1007/PL00012919

[31] Kaurilind, E., Xu, E., & Brosché, M. (2015). A genetic framework for H2O2 induced cell death in Arabidopsis thaliana. BMC Genomics, 16(1), 837. https://doi.org/10.1186/s12864-015-1964-8

[32] Khoshgoftarmanesh, A. H., Kabiri, S., Shariatmadari, H., Sharifnabi, B., & Schulin, R. (2010). Zinc nutrition effect on the tolerance of wheat genotypes to Fusarium root-rot disease in a solution culture experiment. Soil Science and Plant Nutrition, 56(2), 234–243. https://doi.org/10.1111/j.1747-0765.2009.00441.x

[33] Kliebenstein, D. J., Dietrich, R. A., Martin, A. C., Last, R. L., & Dangl, J. L. (1999). LSD1 regulates salicylic acid induction of copper zinc superoxide dismutase in Arabidopsis thaliana. Molecular Plant-Microbe Interactions, 12(11), 1022–1026. https://doi.org/10.1094/MPMI.1999.12.11.1022

[34] Kono, Y., Sekido, S., Yamaguchi, I., Kondo, H., Suzuki, Y., Neto, G. C., Sakurai, A., & Yaegashi, H. (1991). Structures of two novel Pyriculol-related compounds and identification of naturally produced Epipyriculol from Pyricularia oryzae. Agricultural and Biological Chemistry, 55(11), 2785–2791. https://doi.org/10.1080/00021369.1991.10871037

[35] Kuhnem, P., Rosa, A. C., Wagner, F., & Rosa, A. T. S. da. (2020). Informações técnicas para trigo e triticale: 13a reunião da comissão brasileira de pesquisa de trigo e triticale. In Anais da XIII Reunião da Comissão Brasileira de Pesquisa de Trigo e Triticale. Biotrigo Genética.

[36] Kumar, S., Kashyap, P. L., & Singh, G. P. (2020). Wheat Blast. In Paper Knowledge . Toward a Media History of Documents. CRC Press.

[37] Li, X., Yang, Y., Jia, L., Chen, H., & Wei, X. (2013). Zinc-induced oxidative damage, antioxidant enzyme response and proline metabolism in roots and leaves of wheat plants. Ecotoxicology and Environmental Safety, 89, 150–157. https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2012.11.025

[38] Lopez G., O. E., & Malavolta, E. (1974). Estudos sobre as relações entre zinco e fósforo na nutrição da planta. Anais Da Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 31(0), 467–483. https://doi.org/10.1590/S0071-12761974000100037

[39] Maciel, J. L. N., Ceresini, P. C., Castroagudin, V. L., Zala, M., Kema, G. H. J., & McDonald, B. A. (2014). Population structure and pathotype diversity of the wheat blast pathogen Magnaporthe oryzae 25 years after its emergence in Brazil. Phytopathology, 104(1), 95–107. https://doi.org/10.1094/PHYTO-11-12-0294-R

[40] Malavolta, E. (2006). Manual de nutrição mineral de plantas. Agronomica Ceres.

[41] Moreira, C., Camacho, M. A., & Graichen, F. A. S. (2020). Redução da severidade da brusone do trigo com aplicação foliar de sulfato de zinco. Summa Phytopathologica, 46(3), 255–259. https://doi.org/10.1590/0100-5405/229435

[42] Nga, N. T. T., Hau, V. T. B., & Tosa, Y. (2009). Identification of genes for resistance to a Digitaria isolate of Magnaporthe grisea in common wheat cultivars. Genome, 52(9), 801–809. https://doi.org/10.1139/G09-054

[43] Nukina, M. (1988). Terrestric Acid as a Phytotoxic Metabolite from Pyricularia oryzae Cavara.

Agricultural and Biological Chemistry, 52(9), 2357–2358. https://doi.org/10.1080/00021369.1988.10869040

[44] Pilon, M., Cohu, C. M., Ravet, K., Abdel-Ghany, S. E., & Gaymard, F. (2009). Essential transition metal homeostasis in plants. Current Opinion in Plant Biology, 12(3), 347–357. https://doi.org/10.1016/j.pbi.2009.04.011

[45] Pita-Barbosa, A., Ricachenevsky, F. K., Wilson, M., Dottorini, T., & Salt, D. E. (2019). Transcriptional plasticity buffers genetic variation in zinc homeostasis. Scientific Reports, 9(1), 19482. https://doi.org/10.1038/s41598-019-55736-0

[46] Rios, J. A., Debona, D., Duarte, H. S. S., & Rodrigues, F. A. (2013). Development and validation of a standard area diagram set to assess blast severity on wheat leaves. European Journal of Plant Pathology, 136(3), 603–611. https://doi.org/10.1007/s10658-013-0191-x

[47] Rodrigues, F. Á., Jurick, W. M., Datnoff, L. E., Jones, J. B., & Rollins, J. A. (2005). Silicon influences cytological and molecular events in compatible and incompatible rice-Magnaporthe grisea interactions. Physiological and Molecular Plant Pathology, 66(4), 144–159. https://doi.org/10.1016/j.pmpp.2005.06.002

[48] Rodrigues, F. Á., Rios, J. A., Debona, D., & Aucique-Pérez, C. E. (2017). Pyricularia oryzae-wheat interaction: physiological changes and disease management using mineral nutrition and fungicides. Tropical Plant Pathology, 42(3), 223–229. https://doi.org/10.1007/s40858-017-0130-z

[49] Saharan, M. S., Bhardwaj, S. C., Chatrath, R., Sharma, P., Choudhary, A. K., & Gupta, R. K. (2016). Wheat blast disease - An overview. Journal of Wheat Research, 8(1), 1–5.

[50] Simoglou, K. B., & Dordas, C. (2006). Effect of foliar applied boron, manganese and zinc on tan spot in winter durum wheat. Crop Protection, 25(7), 657–663. https://doi.org/10.1016/j.cropro.2005.09.007

[51] Taiz, L., Zeiger, E., Møller, I. M., & Murphy, A. (2017). Fisiologia e desenvolvimento vegetal. In Biochemical Education. Artmed.

[52] TSURUSHIMA, T., DON, L. D., KAWASHIMA, K., MURAKAMI, J., NAKAYASHIKI, H., TOSA, Y., & MAYAMA, S. (2005). Pyrichalasin H production and pathogenicity of Digitaria-specific isolates of Pyricularia grisea. Molecular Plant Pathology, 6(6), 605–613. https://doi.org/10.1111/j.1364-3703.2005.00309.x

[53] Tucker, S. L., & Talbot, N. J. (2001). Surface attachment and pre-penetration stage development by plant pathogenic fungi. Annual Review of Phytopathology, 39(1), 385–417.

[54] Urashima, A. S., Galbieri, R., & Stabili, A. (2005). Dna fingerprinting and sexual characterization revealed two distinct populations of Magnaporthe grisea in wheat blast from Brazil. Czech Journal of Genetics and Plant Breeding, 41(Special Issue), 238–245. https://doi.org/10.17221/6184-CJGPB

[55] Urashima, A. S., Leite, S. F., & Galbieri, R. (2007). Eficiência da disseminação aérea em Pyricularia grisea. Summa Phytopathologica, 33(3), 275–279. https://doi.org/10.1590/S0100-54052007000300011

[56] Van Vu, B., Itoh, K., Nguyen, Q. B., Tosa, Y., & Nakayashiki, H. (2012). Cellulases belonging to glycoside hydrolase families 6 and 7 contribute to the virulence of Magnaporthe oryzae. Molecular Plant-Microbe Interactions, 25(9), 1135–1141. https://doi.org/10.1094/MPMI-02-12-0043-R

[57] Wang, C., Zhang, S. H., Wang, P. F., Hou, J., Zhang, W. J., Li, W., & Lin, Z. P. (2009). The effect of excess Zn on mineral nutrition and antioxidative response in rapeseed seedlings. Chemosphere, 75(11), 1468–1476. https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2009.02.033

[58] Wang, S., Asuke, S., Vy, T. T. P., Inoue, Y., Chuma, I., Win, J., Kato, K., & Tosa, Y. (2018). A new resistance gene in combination with Rmg8 confers strong resistance against Triticum isolates of Pyricularia oryzae in a common wheat landrace. Phytopathology, 108(11), 1299–1306. https://doi.org/10.1094/PHYTO-12-17-0400-R

[59] Wilson, R. A., & Talbot, N. J. (2009). Under pressure: investigating the biology of plant infection by Magnaporthe oryzae. Nature Reviews Microbiology, 7(3), 185–195. https://doi.org/10.1038/nrmicro2032

[60] Woodson, J. D. (2019). Chloroplast stress signals: regulation of cellular degradation and chloroplast turnover. Current Opinion in Plant Biology, 52, 30–37. https://doi.org/10.1016/j.pbi.2019.06.005

[61] Wösten, H. A. B. (2001). Hydrophobins: multipurpose proteins. Annual Review of Microbiology, 55, 625–646. https://doi.org/0066-4227/01/1001-0625$14.00

[62] Zellerhoff, N., Jarosch, B., Groenewald, J. Z., Crous, P. W., & Schaffrath, U. (2006). Nonhost resistance of barley is successfully manifested against Magnaporthe grisea and a closely related Pennisetum -infecting lineage but is overcome by Magnaporthe oryzae. Molecular Plant-Microbe Interactions, 19(9), 1014–1022. https://doi.org/10.1094/MPMI-19-1014

[63] Zhong, S., Ali, S., Leng, Y., Wang, R., & Garvin, D. F. (2015). Brachypodium distachyon – Cochliobolus sativus pathosystem is a new model for studying plant–fungal interactions in cereal crops. Phytopathology, 105(4), 482–489. https://doi.org/10.1094/PHYTO-08-14-0214-R

[64] Zoz, T., Steiner, F., Fey, R., Castagnara, D. D., & Seidel, E. P. (2012). Response of wheat to foliar application of zinc. Ciência Rural, 42(5), 784–787. https://doi.org/10.1590/S0103-84782012005000015

Capítulo 4

Sorgo granífero: sua importância e seus usos

Iasmin Marrony Damasceno Reis
Isadora Cristina Martins Oliveira
Valeria Aparecida Vieira Queiroz
Cicero Beserra de Menezes

Resumo: O sorgo (*Sorghum bicolor (*L.*)* *Moench*) é uma cultura originária da África e Índia que, ao longo dos séculos, se adaptou a diferentes regiões agrícolas graças a avanços no melhoramento genético e tecnologia, tornando-se uma das mais cultivadas do mundo. Classificado em seis tipos, como granífero, forrageiro e sacarino, o sorgo apresenta versatilidade ao ser utilizado na alimentação humana, produção de rações animais, geração de biocombustíveis e manejo agrícola. No Brasil, o sorgo granífero é amplamente cultivado na segunda safra, como sucessor da soja, devido à sua alta resistência a estresses hídricos e menor susceptibilidade a doenças, destacando-se como alternativa ao milho em condições climáticas adversas. Com uma produção nacional de 5 milhões de toneladas na safra 2023/24, o sorgo se consolida como estratégico na nutrição animal e com potencial crescente no mercado alimentício humano, especialmente por suas propriedades nutricionais e ausência de glúten. Apesar disso, desafios como a disseminação de conhecimento técnico e a adoção de novas tecnologias ainda limitam sua produtividade máxima.

Palavras Chave: Sorgo granífero, nutrição animal e humana.

Figura 1. Lavoura de sorgo granífero em estádio de maturação fisiológica no Centro Oeste

Fonte: Cicero Menezes – Autor.

1. IMPORTÂNCIA DO SORGO

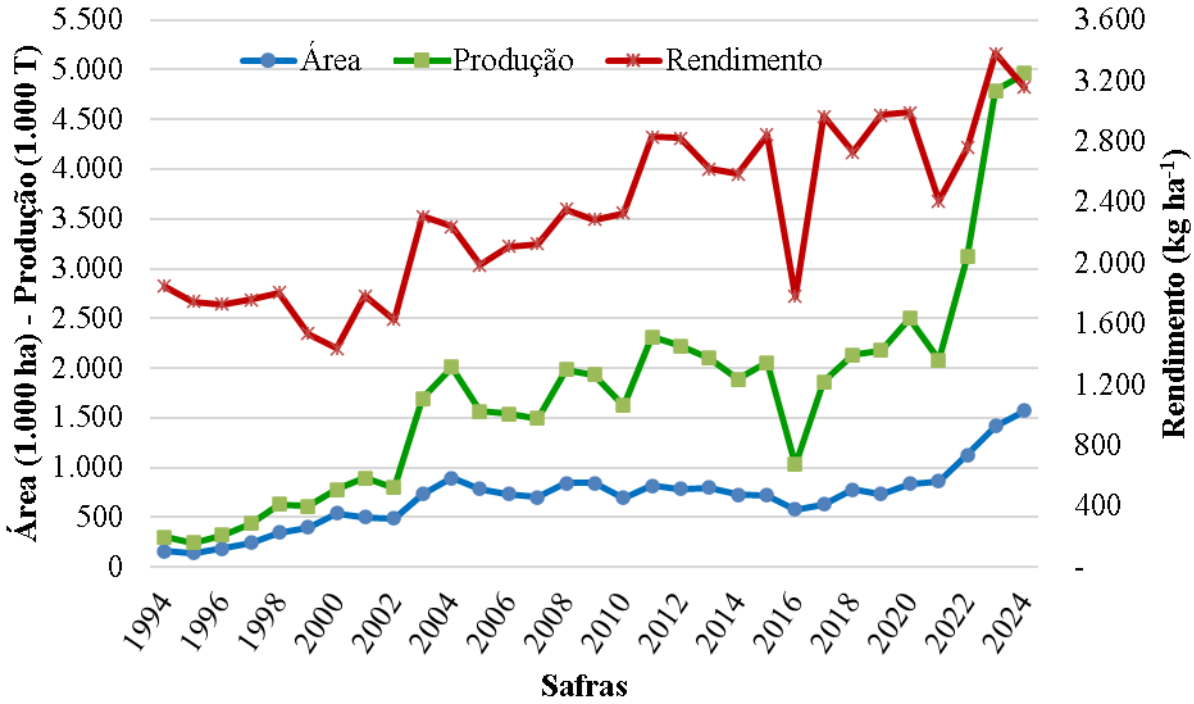
O sorgo [*Sorghum bicolor* (L.) Moench] é de origem africana, entretanto há indícios do início da sua disseminação ser realizado por duas regiões de forma independente: África e Índia (Doggett, 1988; Vavilov, 1992). O seu cultivo em diferentes regiões foi devido ao melhoramento genético, que com o auxílio do desenvolvimento tecnológico, viabilizou a produção de cultivares, cada vez com maiores valores agregados (Ribas, 2003). Atualmente, a maioria dos materiais genéticos de sorgo necessitam de altas temperaturas e dias curtos para um desenvolvimento e crescimento ótimo (FAO, 2019; Menezes et al., 2021a).

O sorgo é classificado em seis tipos: granífero, forrageiro para silagem, e para corte e pastejo, sacarino, biomassa e vassoura, sendo baseados no objetivo de seu uso e se distinguem morfológica e fisiologicamente (Rodrigues et al., 2015). A sua multifuncionalidade se estende desde o uso dos grãos para composição de rações para animais e para alimentação humana, como insumo na produção de álcool. Sua planta pode ser utilizada no para alimentação animal, geração de álcool de segunda geração, manejo do solo, como palhada, e isso, favorece o avanço do seu cultivo em áreas cada vez maiores nos diferentes países (Souza, 2011; Castro et al. 2014; Rodrigues et al., 2015). O sorgo vassoura é utilizado na agricultura familiar, onde sua panícula é usada na confecção de vassouras.

A cultura do sorgo granífero vem se destacando por suas características adaptativas aos diferentes ambientes, sendo plantada de sul a norte do Brasil, principalmente na segunda safra, como cultura de sucessão à soja (Menezes et al., 2021b). A planta de sorgo possui maior tolerância ao déficit hídrico e ao excesso de umidade no solo, em comparação com outros cereais, o que esclarece ser um dos cereais mais plantados no mundo (Magalhães et al., 2014). Além de deter outras vantagens, como: menor susceptibilidade às micotoxinas, ciclo curto, alto rendimento e qualidade de grão, maior janela de plantio, uma vez que permite o seu cultivo em épocas tardias quando há risco de seca para outros cereais (Landau; Netto, 2015; Menezes et al., 2018; Weber et al., 2018).

A cultura do sorgo granífero apresenta grande importância econômica e social devido a sua cadeia produtiva, em particular, a nutrição animal nas Américas e alimentação humana na África. A produção mundial na última safra (2023/24) alcançou cerca de 63 milhões de toneladas (USDA, 2024). O Brasil é o terceiro maior produtor de sorgo, atrás apenas dos Estados Unidos e Nigéria. Com uma área de 1,5 milhão de hectares o país atingiu uma produção de 5 milhões de toneladas na safra 2023/24 (Figura 2) (CONAB, 2024).

Figura 2. Série histórica de área, produção e rendimento de sorgo granífero no Brasil



Fonte: CONAB

A área de sorgo vem crescendo muito no país, parte devido a problemas de mudanças climáticas e ao ataque de enfezamentos na cultura do milho, mas parte também se deve ao investimento na cadeia produtiva que melhorou muito nos últimos anos, onde mais empresas estão comprando o sorgo e usando na alimentação animal (Menezes et al., 2021a). O mercado de alimentação humana no Brasil ainda é incipiente, mas tem alto

potencial de crescimento e pesquisas recentes mostram sua eficiência nesta área (Queiroz et al., 2021).

Este artigo tem como objetivo apresentar revisão sobre a cultura do sorgo, abordando aspectos agronômicos, nutricionais, socioeconômicos e de sustentabilidade, buscando divulgar sua seus benefícios para os produtores e para os consumidores.

O sorgo [*Sorghum bicolor* (L.) Moench], apesar de ser considerado uma cultura antiga, o seu desenvolvimento nos países de maior produção é recente (Smith et al., 2019). A introdução do sorgo no continente americano ocorreu por volta do século XV, e através da transição da planta selvagem proveniente do país de origem (África) para a forma domesticada, e por trabalhos de melhoramento, possibilitou o desenvolvimento dos tipos de sorgo e a dispersão para muitas regiões agrícolas ao final do século XIX (Albuquerque et al., 2021; Von Pinho et al., 2022).

A planta de sorgo é classificado como C4, e por isso manifesta características adaptativas que lhe conferem uma alta tolerância ao estresse hídrico e um maior desempenho em condições de altas temperaturas e escassez de água, como: eficiência fotossintética; um sistema radicular extenso e profundo; a capacidade de fechamento de estômatos para redução da transpiração e perda de água; aptidão para acúmulo de compostos osmóticos, que admite a manutenção das células hidratadas, quando em condições de baixa disponibilidade hídrica; e folhas cerosas (Magalhães et al., 2003, 2014; Rodrigues et al., 2015) (Figura 3).

Figura 3. Plantas de sorgo em fase de enchimento de grãos

Foto: Cicero Menezes – Autor.

Em razão dessas vantagens, a cultura do sorgo é muito utilizada na segunda safra, principalmente quando as chuvas começam a reduzir, sendo uma ótima opção ao milho após meados de fevereiro (Landau; Netto, 2015; Menezes et al., 2018). No Brasil, o cultivo de sorgo é recomendado após as culturas de verão (na segunda safra), especialmente em sucessão à soja, sobretudo quando há atrasos na colheita dessa última (Menezes et al., 2021). Isso possibilita, um bom rendimento de grãos e retorno financeiro para o produtor, baixo custo de produção, o plantio em épocas mais tardias e a obtenção de rações com melhor composição nutricional (Queiroz et al., 2021).

As culturas de milho e sorgo, apesar de possuírem semelhanças fisiológicas e serem adaptadas para ambas as safras, safra de verão e safrinha no Brasil, o sorgo apresenta como prerrogativa, o maior intervalo de semeadura, cerca de 20 dias superior em relação ao milho. Assim, em casos em que existe o retardo da colheita da safra e em condições de sequeiro preconiza-se a escolha pelo plantio de sorgo na safrinha pela sua maior tolerância à seca, em virtude de que, no final do ciclo de ambas, coincide com a falta de chuvas. O milho possui maior sensibilidade ao estresse hídrico, o que interfere na sua produtividade. Esse é um dos motivos pelo aumento da produção e a predileção do sorgo pelos produtores nessas condições.

Além da menor demanda hídrica, a decisão pelo sorgo em condições de estresse, se estende a outros fatores, como a sua alta capacidade responsiva, se adaptando ao meio em que se encontra de forma a mitigar os efeitos negativos sobre a planta; maiores ganhos produtivos; preço de mercado inferior, cerca de 20%; composição nutricional similar, sendo uma ótima alternativa de substituição do milho para alimentação animal, desde que utilize sorgo sem tanino. Porém, para os ruminantes pode-se utilizar sorgo com tanino, pois não influencia na digestibilidade.

O cultivo brasileiro de sorgo granífero é feito a partir da prática de sequeiro, por esse motivo o ideal é o plantio de cultivares mais precoces para que o enchimento de grãos ocorra durante a incidência de chuvas, uma vez que há maior probabilidade de se ter períodos prolongados de secas ao final do ciclo da cultura. A recomendação de cultivares tardias, somente se dá, em plantio no início da segunda safra (Menezes et al., 2021)

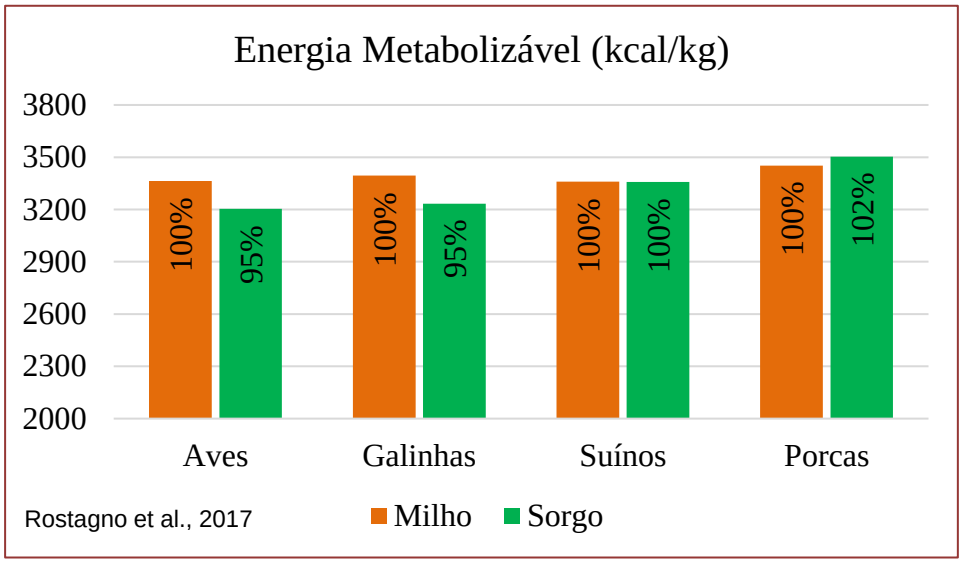
Figura 4. Panícula de sorgo com grãos vermelhos (A) e brancos (A)

(a) (b)

Foto: Cicero Menezes – Autor.

O sorgo granífero, devido às suas características nutricionais e a redução dos custos da ração, pode ser uma excelente alternativa ao milho, como evidenciado anteriormente (Fernandes et al., 2014a; Mccuistion et al., 2019). Apresenta como fonte energética nas rações dos animais por possuir maior concentração de amido, e representa, aproximadamente, 95% de energia metabolizável do milho para aves e galinhas e 100% para suínos, porcas e ruminantes (Figura 5) (Rostagno et al., 2017), além da menor susceptibilidade às micotoxinas (Weber et al., 2018. A utilização de grãos de sorgo na dieta dos animais não gera prejuízos ao desempenho zootécnico, e permite a obtenção de maiores lucros pelos produtores pela redução do preço final (Fernandes et al., 2014b; Carvalho et al., 2015). Esses fatores têm contribuído para a maior comercialização de grãos de sorgo.

Figura 5. Energia metabolizável de grãos de milho e sorgo para aves, galinhas, suínos e porcas



Fonte: Rostagno et al., 2017.

O uso de grãos de sorgo na ração de aves permite o mesmo rendimento de produção de carne e de ovos em comparação com a ração à base de milho, devido à similaridade da composição nutricional entre eles (Quadro 1). Podendo as formulações das dietas serem totalmente substituídas por sorgo.

Aves alimentadas com sorgo sem tanino apresentam desempenho e rendimento de carcaça semelhantes aos daquelas alimentadas com dieta à base de milho (Scheuermann, 1998; Fernandes et al., 2014).

Quadro 1. Composição nutricional de sorgo e milho para monogástricos

Nutriente	Sorgo	Milho
Energia Metabolizável (kcal/kg)	3290	3390
Proteína Bruta (%)	8.00	7.60
Fibra Bruta (%)	2.70	2.17
Extrato Etério (%)	2.70	3.80
Cálcio (%)	0.04	0.04
Fósforo disponível (%)	0.08	0.08
Lisina (%)	0.24	0.20
Metionina (%)	0.13	0.15
Metionina + Cisteína (%)	0.28	0.33
Treonina (%)	0.23	0.27
Ácido Linoléico (%)	1.13	2.20
Xantofila (%)	1.10	23.0

Fonte: Embrapa Suínos e Aves, 1988.

O grão de sorgo pode ser ofertado tanto inteiro quanto triturado em moinho a martelo com peneiras, posto que não há distinção no rendimento de carcaça dos animais. Os grãos de sorgo por possuírem pouca pigmentação amarela, necessita de incrementos de pigmentos

O sorgo granífero pode ser utilizado na alimentação de suínos, substituindo totalmente o milho por propiciar desempenho semelhante ou superior (Rostagno et al., 2017). Alguns estudos indicaram que as dietas à base de sorgo promovem ganho de peso em até 6% de suínos em fase de terminação.

A cautela no fornecimento de grãos de sorgo está amparada na digestibilidade do alimento, tendo que os grãos se submeterem ao processo de moagem, para que o alimento seja fornecido com uma granulometria mais fina. Grãos com diâmetro maior não são digeridos, e com isso eliminados nas fezes.

E na quantidade de ácidos graxos insaturados que influencia na qualidade da carne. Quanto maior o seu teor, maior a maciez da gordura da carcaça, menor a preferência pelo seu consumo em razão da dificuldade de cortar algumas peças da carne e por se tornar imprópria mais rapidamente (Benz et al., 2010). Carne com menor teor de ácidos graxos insaturados melhora a qualidade da gordura da carne.

Ao comparar a alimentação de suínos com milho e sorgo, porcos com ração à base de sorgo dispôs de gordura com maior firmeza, e com isso, melhor qualidade da carcaça.

2. ALIMENTAÇÃO DE BOVINOS

O grão de sorgo pode ser utilizado na dieta dos ruminantes, sem que ocorra prejuízos no desempenho produtivo do animal, podendo alcançar um valor energético entre 95 a 100% do valor do milho (Valadares Filho et al., 2006; Igarasi et al., 2008) (Quadro 2) (Figura 6).

Quadro 2. Composição química do grão de milho e de sorgo na alimentação de bovinos

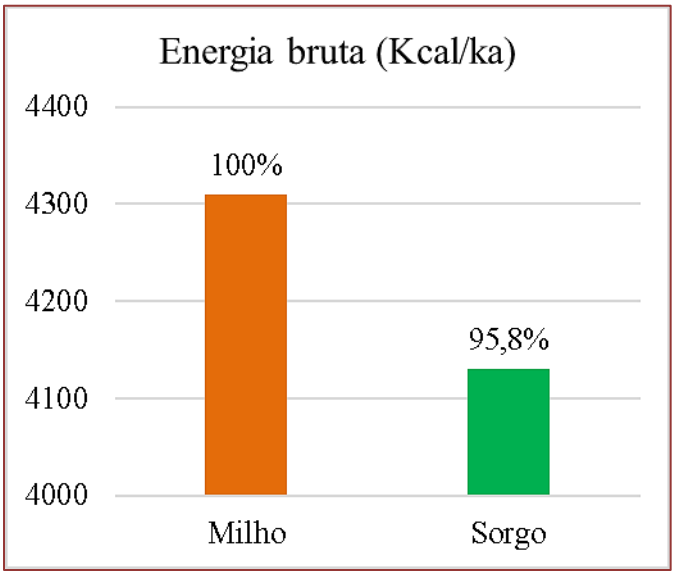
Parâmetros	Milho	Sorgo
Matéria Seca (%)	87,64	87,9
Proteína Bruta (%)	9,11	9,54
Extrato Etéreo (%)	4,07	3,03
FDN (%)	13,98	14,21
FDA (%)	4,08	6,3
Extrato não nitrogenado (%)	74,1	71,92
Carboidratos não fibrosos (%)	74,47	73,84
Hemiceluloses (%)	9,41	9,62
Celulose (%)	3,55	3,55
Lignina (%)	1,16	1,21
NDT	87,24	80,35
Energia bruta (Kcal/ka)	4310	4130
Ca (%)	0,03	0,04
P (%)	0,25	0,28

Fonte: Valadares filho et al. (2006).

Porém, necessita-se que os grãos sejam devidamente processados para que haja eficiência da digestibilidade do alimento, uma vez que os grânulos de amido do sorgo possuem um

envoltório proteico que dificulta a sua digestão, e a disponibilidade dos alimentos (Owens; Zinn, 2005).

Figura 6. Energia bruta de grãos de milho e sorgo para alimentação de bovinos



Fonte: Valadares Filho et al. (2006).

As técnicas de processamento de grãos de cereais na ração interferem nos resultados de ganho e eficiência do animal (tabela), e cada um dos processos apresentam vantagens e desvantagens, e a escolha depende dos objetivos nutricionais e dos recursos disponíveis.

Algumas técnicas utilizadas são: a moagem, principal técnica utilizada, e objetiva-se a redução das partículas de grãos de sorgo; a silagem de grãos úmidos, em que os grãos são armazenados ainda úmidos em condições anaeróbicas; e a floculação, aglomeração de partículas de grãos. Todos esses processos possuem a finalidade de aumentar a digestibilidade, melhorar a palatabilidade e o aproveitamento dos nutrientes.

Estudos com vacas de alta produção demonstraram que não houve diferença na composição (quantidade de proteína e gordura) e produção do leite quando suplementados com sorgo ou milho, quando processados da mesma forma. Entretanto, a utilização de sorgo floculado, em relação ao sorgo laminado, apresentou melhores respostas produtivas (produção e composição do leite, produção de gordura (g/dia), digestibilidade do amido), com exceção da redução do teor de gordura do leite, devido ao tipo de processamento empregado na qual melhora a qualidade nutricional.

3. ALIMENTAÇÃO HUMANA

O plantio de sorgo destinado à alimentação humana é uma realidade recente e vem crescendo significativamente nos últimos anos. Essa intensificação é fundamentada em seus benefícios nutricionais, sendo uma excelente fonte de nutriente, rico em proteínas e fibras, além da ausência de glúten, ideal, principalmente, para pessoas celíacas ou com sensibilidade ao glúten, podendo ainda, substituir parcial ou totalmente o uso da farinha

de trigo (Moraes et al., 2012; Cardoso et al., 2014; Queiroz et al., 2015; Anunciação et al., 2019).

Figura 7. Produtos à base de sorgo. Pães, salada, bolo e cookies

Fotos: Valéria Queiroz.

Há uma maior procura por alimentos naturais e saudáveis, o que faz com que o sorgo ganhe destaque entre as indústrias alimentícias para o desenvolvimento de produtos à base de sorgo, como pães, massas, farinhas, cereais, tortilhas, bebidas entre outros. Dessa forma, aumenta a visibilidade e a aceitação entre os consumidores.

Apesar desse crescimento recente, o sorgo já era utilizado como alimento básico em muitos países, principalmente, África e Ásia. Nesses locais, vários alimentos eram feitos à base de sorgo, seja na forma de pães, mingaus ou outros tipos de alimentos. Porém, devido a facilidade de acesso a outros cereais, a exploração da cultura do sorgo entrou em decadência, ganhando espaço na atualidade, frente a essa alteração na preferência alimentar e na maior conscientização das pessoas por produtos saudáveis e sobre questões de sustentabilidade.

Embora houvesse progressos na produtividade, ainda se mantém inferior a potencialidade da cultura, em virtude da falta de disseminação a respeito da cultura do sorgo entre o meio acadêmico e rural. Pode-se citar ainda, a necessidade de pesquisas e o desenvolvimento de variedades cada vez mais produtivas e com maior resistência aos

fatores bióticos e abióticos e a adequação dos materiais para cada local de plantio (Menezes et al., 2021). Bem como a integração de novas tecnologias e a emissão de cartilhas técnicas que auxiliem na educação dos produtores, facilitem a adoção de estratégias adequadas de manejo e para promoção do sorgo no meio agrícola.

REFERÊNCIAS

[1] ALBUQUERQUE, C. J. B.; MENEZES, C. B. de; FREITAS, R. S. de. **Origem, evolução e domesticação do sorgo**. In: MENEZES, C. B. de (ed.). Melhoramento genético de sorgo. Brasília, DF: Embrapa, 2021. p. 59-80.

[2] BENZ, J. M.; LINNEEN, S. K.; TOKACH, M. D.; DRITZ, S. S.; NELSSEN, J. L.; DEROUCHEY, J. M.; GOODBAND, R. D.; SULABO, R. C.; PRUSA, K. J. Effects of dried distillers grains with solubles on carcass fat quality of finishing pigs. Journal of Animal Science, v. 88, n. 11, p. 3666-3682, 2010.

[3] CARVALHO, L. S. S.; FAGUNDES, N. S.; LITZ, F. H.; SAAR, A. G. L.; FERNANDES, E. A. Sorgo grão inteiro ou moído em substituição ao milho em rações de frangos de corte. Enciclopédia Biosfera, v. 11, n. 21, p. 1757-1765, 2015.

[4] CASTRO, F.M. R. **Potencial Agronômico e energético de híbridos de sorgo Biomassa**. Dissertação (mestrado em agronomia). Programa de Pós-graduação em agronomia, Universidade Federal de Lavras, Lavras. 80f. 2014.

[5] DOGGETT, H. Sorghum 2. ed. Harlow: Longman, 1988.

[6] FAO. **FAOSTAT Production crops**. Roma, 2019. Disponível em: <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC>. Acesso em: 18 mar. 2020.

[7] FERNANDES, E. A.; CARVALHO, C. M. C.; LITZ, F. H.; MARTINS, J. M. S.; SILVEIRA, M. M.; SILVA, M. C. A.; BARBERO, L. M. Viabilidades técnica e econômica da utilização de grãos de sorgo para monogástricos. Informe Agropecuário, v. 35, n. 278, p. 22-32, 2014.

[8] IGARASI, M. S.; ARRIGONI, M. B.; SOUZA, A. A.; SILVEIRA, A. C.; MARTINS, C. L.; OLIVEIRA, H. N. Desempenho de bovinos jovens alimentados com dietas contendo grão úmido de milho ou sorgo. Revista Brasileira de Zootecnia, v. 37, n. 3, p. 513-519, 2008.

[9] LANDAU, E. C.; NETTO, D. A. M. **Expansão potencial da produção de sorgo granífero no Brasil no sistema de rotação com soja considerando o zoneamento de risco climático 2015/16**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2015. 27 p. (Embrapa Milho e Sorgo. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 125).

[10] MAGALHÃES, P. C.et al. O. Exigências edafoclimáticas e fisiologia da produção. In: BÓREM, A.; PIMENTAL, L.; PARRELLA, R. **Sorgo do plantio à colheita**. Viçosa, MG: Ed. UFV, 2014.p. 58- 88.

[11] McCUISTION, K. C.; SELLE, P. H.; LIU, S. Y.; GOODBAND, R. D. Sorghum as a feed grain for animal production. In: TAYLOR, J. R. N.; DUODU, K. G. (Ed.). Sorghum and millets: chemistry, technology, and nutricional atributes. 2. ed. Washington: AACC International Press, 2019. p. 355-391.

[12] MENEZES, C. B.; TICONA-BENAVENTE, C. A.; TARDIN, F. D.; CARDOSO, M. J.; BASTOS, E. A.; NOGUEIRA, D. W.; PORTUGAL, A. F.; SANTOS, C. V.; SCHAFFERT, R. E. Selectionindicestoidentifydrought-tolerantgrainsorghumcultivars. **Genetics and Molecular Research**, RibeirãoPreto, v. 13, n. 4, p. 9817-9827, 2014.

[13] MENEZES, C. B. de. A opção interessante do sorgo. **A Granja**, v. 76, n. 856, p. 35-36. 2020.

[14] MENEZES, C. B. DE; FERNANDES, E. A.; PARRELLA, R. A. C.; SCHAFFERT, R. E.; RODRIGUES, J. A. S**. Importância do sorgo para o abastecimento de grãos, forragem e bioenergia no Brasil**. In: Menezes, C. B. de. Melhoramento genético de sorgo. Brasília: Embrapa, 2021. Cap.1, p.13-58, 2021a.

[15] MENEZES, C. B. de; SILVA, K. J. da; CARVALHO JUNIOR, G. A. de; MAGALHAES, P. C.; SCHAFFERT, R. E. **Melhoramento do sorgo para tolerância à seca**. In: MENEZES, C. B. de (ed.). Melhoramento genético de sorgo. Brasília, DF: Embrapa, 341-381. 2021b.

[16] OWENS, F. N.; SECRIST, D. S.; HILL, W. J.; GILL, D. R. The effect of grain source and grain processing on performance of feedlot cattle: a review. Journal of Animal Science, v. 75, p. 868-879, 1997.

[17] QUEIROZ, V. A. V.; MENEZES, C. B. de; BARROS, F. A. R. de; MARTINO, H. S. D. **O sorgo na alimentação humana**. In: PEREIRA FILHO, I. A.; RODRIGUES, J. A. S. (Ed.). Sorgo: o produtor pergunta, a Embrapa responde. Brasília, DF: Embrapa, 2015. p. 247-266. (Coleção 500 perguntas, 500 respostas).

[18] QUEIROZ, V. A. V.; BARROS, F. A. R. de; CARDOSO, L. de M.; MARTINO, H. S. D.; PINHEIRO-SANT'ANA, H. M.; MENEZES, C. B. de. **Sorgo para alimentação humana**. In: MENEZES, C. B. de (ed.). Melhoramento genético de sorgo. Brasília, DF: Embrapa, 2021. p. 459-494.

[19] RODRIGUES, J. A. S., PIRES, D. D. A., GONÇALVES, L. C., & PEREIRA, L. G. R. Melhoramento de sorgo forrageiro e produção de silagem de alta qualidade. In: Embrapa Milho e Sorgo-Artigo em anais de congresso (ALICE). In: SIMPÓSIO LATINOAMERICANO" PRODUCTIVIDAD EN GANADO DE CORTE", 15., 2012, Santa Cruz, Bolívia.[Anais].[Sl]: ASOCEBU, 2012. p. 66-75., 2012.

[20] RODRIGUES, J. A. S.; MENEZES , C. B. de; GUIMARAES JUNIOR, R.; TABOSA, J. N. **Utilização do sorgo na nutrição animal**. In: PEREIRA FILHO, I. A.; RODRIGUES, J. A. S. (Ed.). Sorgo: o produtor pergunta, a Embrapa responde. Brasília, DF: Embrapa, 2015. cap. 14, p. 229-246. (Coleção 500 perguntas, 500 respostas).

[21] ROSTAGNO, H. S.; ALBINO, L. F. T.; HANNAS, M. I.; DONZELE, J. L.; SAKOMURA, N. K.; PERAZZO, F. G.; SARAIVA, A.; TEIXEIRA, M. L.; RODRIGUES, P. B.; OLIVEIRA, R. F.; BARRETO, S. L. T.; BRITO, C. O. Tabelas brasileiras para aves e suínos. Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa, 2017. 252 p.

[22] SCHEUERMANN, N. G. Utilização do sorgo em rações para frangos de corte. Concórdia: Embrapa-CNPSA, 1998. 3 p. (Embrapa-CNPSA. Instrução Técnica para o Avicultor, 9).

[23] SMITH, O.; NICHOLSON, W. V.; KISTLER, L.; MACE, E.; CLAPHAM, A.; ROSE, P.; STEVENS, C.; WARE, R.; SAMAVEDAM, S.; BARKER, G.; JORDAN, D.; FULLER, D. Q.; ALLABY, R. G. A domestication history of dynamic adaptation and genomic deterioration in Sorghum. **Nature Plants**, v. 5, p. 369-379, 2019.

[24] SOUZA, V.F. Adaptabilidade e Estabilidade de Cultivares de Sorgo Sacarino. 2011. 53p. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal no Semiárido) – Universidade Estadual de Montes Claros, Janaúba – MG.

[25] TARDIN, F.D.; RODRIGUES, J.A.S.; COELHO, R.R. Cultivo do sorgo. Cultivares. Embrapa Milho e Sorgo. Sistema de Produção, v. 2, p. 1-3, 2010.

[26] USDA. US Departament of Agriculture. Sorghum Explorer. Sorghum 2024 World Production. https://ipad.fas.usda.gov/cropexplorer/cropview/commodityView.aspx?cropid=0459200. Acessado em 05 de outubro de 2024.

[27] VALADARES FILHO, S. C.; MAGALHÃES, K. A.; ROCHA JÚNIOR, V. R.; CAPELLE, E. R. (Ed.). **Tabelas brasileiras de composição de alimentos para bovinos**. 2. ed. Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa, 2006. 239 p.

[28] VAVILOV, N. I. Origin and geography of cultivated plant. Cambridge: Cambridge University Press, 1992. 505 p.

[29] VON PINHO, R.; SILVA, E. V. V.; OLIVEIRA, T. L. de; SOUZA, V. F. de; MENEZES, C. B. de. Breeding sorghum for grain, forage and bioenergy in Brazil. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 21, e1275, 2022.

[30] WEBER, I. F.; FEDDERN, V.; VIEIRA, O. F. V.; VIEIRA, J. C.; LIMA, G. J. M. M. Ocorrência de micotoxinas em farelos de soja, trigo e sorgo no Brasil nos anos de 2016 e 2017. In: SIMPÓSIO DE SEGURANÇA ALIMENTAR, 6., 2018, Gramado. **Desvendando mitos**: anais. Porto Alegre: UFGRS; Campinas: SBCTA, 2018.

Capítulo 5

O uso de IoT para o monitoramento remoto de temperatura e umidade em silos

Laura Negreiros Naves
Gustavo Post Sabin

Resumo: Para que haja a preservação dos grãos no armazenamento em silos é importante ter um monitoramento eficiente e preciso da temperatura e da umidade, caso contrário, a qualidade dos grãos será prejudicada. A presente pesquisa tem como objetivo desenvolver um sistema de monitoramento remoto de temperatura e umidade em silos no processo de armazenamento de grãos, implementando a tecnologia *Internet of Things* (IoT) e de introduzir uma aplicação básica de um controle Proporcional-Integral-Derivativo(PID) . Pretende-se, com este sistema, mitigar a deterioração intrínseca do grão, que acontece em casos em que não há um monitoramento eficiente da temperatura e da umidade interna do silo. Nesse prisma, o vigente trabalho foi realizado com base em outras pesquisas científicas já existentes, as quais abordaram o mesmo problema em outras vertentes, usando diferentes metodologias. Dessa forma, com a implementação da tecnologia IoT, foi possível construir um sistema de monitoramento ágil, preciso, mais eficiente, com processamento de dados em tempo real e com a possibilidade de acessar o sistema em vários dispositivos ao mesmo tempo e de qualquer região.

Palavras-chave: Acesso remoto, Agro 4.0, Armazenagem de grãos, IoT.

1. INTRODUÇÃO

O Brasil tornou-se o centro das atenções mundiais em função da expansão da produção agropecuária, porque, nas últimas décadas, especialmente nos últimos 15 anos, conseguiu duplicar sua safra, atingindo, aproximadamente, 120 milhões de toneladas entre grãos e fibras, com destaque para a soja, o milho e o arroz, além da produção de cana-de-açúcar, laranja e café (SENAR, 2024). Sob uma ótica regionalista, Mato Grosso é referência quanto ao crescimento da produção de grãos no Brasil, especificamente nos anos de 2022 e 2023, de acordo com a estimativa divulgada pelo site do Governo Federal: "Na região Centro-Oeste, o estado de Mato Grosso tem a segunda maior estimativa de crescimento da produção, saltando de 86,4 milhões para 100,7 milhões de toneladas — um incremento de 16,5% em relação à safra anterior.". Essa estimativa e dados apresentados são resultados de estudos da própria CONAB (2023).

O estado de Mato Grosso é destaque no Brasil como produtor agrícola, mas existem perdas entre a colheita e o armazenamento de grãos, e acontecem prejuízos de qualidade e quantidade, principalmente por contaminantes de natureza biológica, física e química, o que gera uma perda significativa na produção de grãos no estado. As perdas durante o processo de armazenamento podem ocorrer devido a uma quantidade de fatores, mas neste estudo será abordada a perda de grãos que acontece devido à circulação de ar deficiente no local de armazenagem, e que traz como consequência a deterioração intrínseca do grão.

Além da deficiência da capacidade estática, a falta de capacitação dos trabalhadores e as condições dos armazéns atuais também são problemas. Os grãos ainda sofrem com problemas relacionados ao teor de água acima do ideal, acarretando no surgimento de fungos e bactérias, além de problemas com pragas de grãos armazenados (JÚNIOR et al.,2012). Ely (2018) alerta que uma das tarefas importantes no armazenamento é a manutenção da integridade dos grãos e um dos indicadores dessa qualidade é a temperatura. E Silva (2018) escreve que a temperatura da massa granular adequada para inibir o desenvolvimento de fungos é de 20°C, aliada a 60% de umidade relativa do ar intragranular.

Para essa pesquisa, foi usado como referência o projeto desenvolvido pelo acadêmico Ayres (2021), que objetiva integrar um sistema de monitoramento de produtos armazenados em silo. Para manter as condições de temperatura em torno de 20°C e a umidade em 60%, mencionado no parágrafo anterior por Silva (2018), o monitoramento dessas grandezas é essencial para que ações preventivas sejam tomadas para evitar o aquecimento interno no silo e o aumento no teor de água nos grãos. Muitas vezes esse monitoramento é feito de forma manual, onde o profissional responsável pela supervisão do sistema de armazenamento dirige-se ao silo portando um terminal que é plugado nas tomadas e assim realiza a leitura dos sensores de temperatura que ficam dispostos em diferentes alturas. Este método não é eficaz e contribui na perda da qualidade dos grãos. O leitor pode encontrar mais informações sobre esse problema no artigo (Bica et al., 2021).

Visando aperfeiçoar o monitoramento e até o controle nos silos, usando métodos automáticos e remotos, o uso de Internet das Coisas pode ser uma excelente alternativa para amenizar os danos do problema.

Essa tecnologia possibilita a conexão de dispositivos com a rede internet ou uma rede local, permitindo o controle, comunicação e monitoramento de dispositivos. Também, torna-se possível transmitir dados coletados de forma inteligente e ágil. A alternativa de

uso da Internet das Coisas é indicada em situações de automatização de tarefas manuais, monitoramento de dispositivos, otimização e tomada de decisão.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

A metodologia da pesquisa constituiu em instalar o *Home Assistant* (HA) , que é um *hub* de automação residencial, em uma placa *Raspberry Pi* 4 *model* B. Após isso, precisou-se integrar no *Home Assistant* o *software ESPHome* para escrever e compilar o código do microcontrolador ESP32, a integração foi feita via *WiFi*. Diante disso, integrou-se também o *influxDB* para armazenar os dados coletados pelos sensores e o *Grafana* para visualizar esses dados em forma gráfica em tempo real. Para o acesso remoto foi usado o Túnel *Cloudflare*.

2.1. EXECUÇÃO EXPERIMENTAL

O protótipo montado, objetiva simular e representar o sistema de medição e monitoramento das temperaturas e umidades do silo. O protótipo é composto por dois sensores de temperatura e umidade, o DHT11, ajustados na parte externa e interna, para medir temperaturas e umidades e também, por dois *coolers* que são acionados por um controle PID. O sensor externo é usado para medir a temperatura e a umidade fora do silo, enquanto o sensor interno é responsável por medir essas grandezas dentro do silo. Caso a temperatura captada pelo sensor externo seja maior que a temperatura obtida pelo sensor interno, não haverá o acionamento dos *coolers*, para evitar que o ar quente externo seja puxado para a parte interna, e dessa forma, evita-se o aquecimento dentro do silo para não prejudicar a qualidade dos grãos. Implementa-se o sistema para monitorar essas grandezas e a partir disso tomar decisões.

Para o controle do sistema, foi usada as Ações Proporcional e Integrativa do controle PID implementado, pois, tem-se um sistema que controla a tensão do PWM dos *coolers*, que tem uma velocidade rápida de resposta. Por esse motivo, a Ação Derivativa pode ser desativada do controle PID. Assim, implementa-se um controle PI.

No protótipo, os dois coolers são colocados na parte interna de um recipiente isolado por fita, que representa o silo, que é aberto apenas na parte de trás dos motores para a troca do ar. Um sensor é colocado na parte interna junto com os motores e o outro sensor é ajustado na parte externa da caixa. Como também, foi projetado o sistema de monitoramento remoto dessas grandezas captadas pelos sensores.

Para a montagem física do protótipo e a configuração do *ESPHome* foi seguido como referência o projeto independente do *patrickcollins12 (2024)* publicado na plataforma do *GitHub*.

2.2. DIAGRAMA DE COMUNICAÇÃO

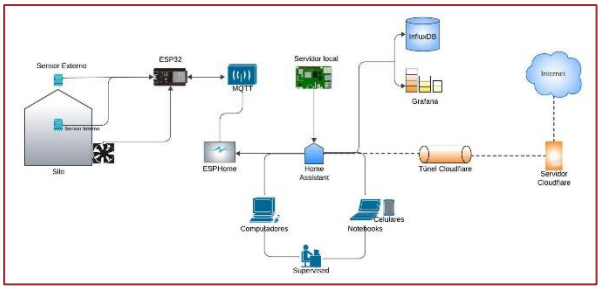
A construção de um diagrama de comunicação é necessária para o entendimento da lógica de montagem do projeto e também para compreender o fluxo das comunicações existentes. Na Figura 1, tem-se representado o fluxo de comunicação do sistema. A grosso modo, as comunicações principais para o projeto foram:

- Raspberry-HA(Hardware-Sistema Operacional): Comunicação de baixo nível. O sistema operacional é o software que atua como uma ponte de comunicação entre

o hardware e o usuário.

- HA-Dispositivos: Comunicação com os dispositivos pelo IP.
- HA-Internet: Comunicação através do túnel \textit{Cloudflare}, assim, permite o acesso remoto.
- HA-Add-ons: Comunicação por meio de APIs, protocolos drivers específicos para cada dispositivo ou serviço.
- ESPHome-ESP32: A comunicação por meio do protocolo MQTT.
- ESP32-Sensores e motor: Acontece por protocolos como UART, SPI, I2C e OneWire.

Figura 1. Diagrama de comunicação



Fonte: Autora (2024).

2.3. INSTALAÇÃO E CONFIGURAÇÃO DO *HOME ASSISTANT*

Nesta subseção está divido os métodos de instalação e configuração do *Home Assistant.*

2.3.1. INSTALAÇÃO DO *HOME ASSISTANT*

Para a instalação do *Home Assistant*, foi necessário dedicar o *Raspberry Pi* para operar apenas o sistema operacional do HA. Para isso, usou-se o sistema operacional Linux em um computador e nele foi instalado o pacote do *APP Imager* fornecido pela própria plataforma do *Raspberry Pi*. O pacote do *APP Imager* faz a instalação do sistema operacional do Raspberry Pi e de outros SO para operar na placa usando um MicroSD. Ao invés de instalar o SO do *Raspberry Pi*, foi instalado o Hassio, sistema operacional do *Home Assistant*, no MicroSD.

Primeiro, precisou escolher o modelo da placa do Raspberry Pi, nesse caso foi escolhido o Raspberry Pi 4, que foi usado neste trabalho. Após a seleção do modelo, é necessário a escolha do Sistema Operacional que irá atuar na placa e selecionar o MicroSD que será usado para instalar o SO. E por fim, com tudo selecionado, começa o processo de Escrita no cartão de memória e após isso, é instalado o *Home Assistant* como sistema operacional.

2.3.2. CONFIGURAÇÃO DO *HOME ASSISTANT*

Após instalado o *Home Assistant* no *Raspberry*, foi necessário usar um cabo de rede *Ethernet* para fazer o primeiro acesso à plataforma. Para o acesso, utilizou-se o endereço http://homeassistant.home:8123/ no *browser*. Quando acessado, foi feita a configuração SSID e a senha da rede *Wi-Fi* residencial que o HA foi conectado. Uma vez conectado no *Wi-Fi*, usou-se o comando *bettercap* no terminal do Linux para encontrar todos os IPs conectados na rede *Wi-Fi* e assim, descobrir qual o IP do *Home Assistant*. Sabendo o IP, pode-se acessar o *Home Assistant* digitando o IP no *browser* e a porta de acesso.

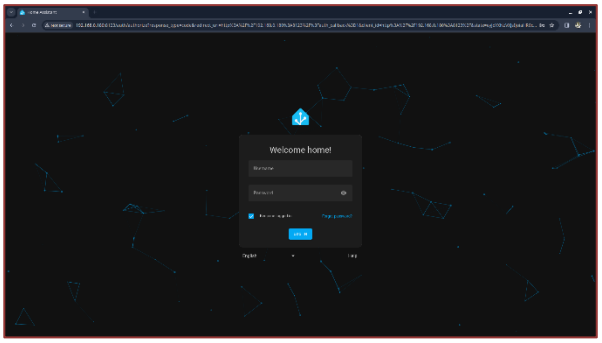
Diante disso, ao encontrar o IP do *Home Assistant*, configurou como IP estático na plataforma do *Home Assistant* para estabelecer a conexão com o *Wi-Fi* automática e depois, pôde-se fazer o acesso pelo navegador diretamente pelo IP e a porta padrão de acesso 8123.

Essas configurações foram essenciais nos primeiros passos da execução do trabalho, seja para Ping de IPs, encontrar dispositivos na mesma rede e outras funções. Após isso, foram feitas outras etapas no acesso do *Home Assistant*, como o acesso remoto, criação de domínio e hospedagem, que serão discutidas em outra seção do capítulo.

Toda configuração no *Home Assistant* é feita no arquivo de configuração, *configuration.yaml*, acessando as ferramentas do desenvolvedor. Para editar esse arquivo e outros *scripts*, foi instalado o *add-ons Visual Studio Server*, e assim escrever todos os códigos em *YAML* que forem necessários.

Na Figura 2 tem-se a tela de login do *Home Assistant* ao fazer o acesso pelo IP.

Figura 2. Acesso ao *Home Assistant*



Fonte: Autora (2024).

2.3.3. CONFIGURAÇÃO DO ACESSO REMOTO ATRAVÉS DO *DuckDNS* E DO TÚNEL *CLOUDFLARE*

Para as configurações do acesso remoto, foi feita a configuração do *DuckDNS* no *Home Assistant*. Inicialmente, criou-se uma conta na plataforma oficial do *DuckDNS* e adicionou-se o domínio. A plataforma fornece um *token* de acesso para cada usuário cadastrado. Depois, foi preciso adicionar essas informações (domínio e *token*) no código de configuração da própria integração no *Home Assistant*. O *DuckDNS* também permite acessar remotamente o *Home Assistant*, entretanto, não é a opção mais segura, o seu uso

foi mais necessário na parte inicial do projeto. Para fazer o acesso remoto seguro, foi utilizado o túnel *Cloudflare*.

Sobre o Túnel *Cloudflare*, a vantagem do uso é que possibilita o *Home Assistant* ficar *online* na *internet* de maneira gratuita, sem precisar pagar hospedagem de site. O único investimento necessário para manter o *Home Assistant* na internet foi a criar um domínio, que permitiu acessar o *Home Assistant* remotamente de qualquer rede e dispositivo de maneira segura.

Para a criação do túnel, foi feito o cadastro na plataforma oficial do *Cloudflare* em paralelo, foi necessário comprar e criar o domínio hassioproject.cloud no site da *Hostinger*. Depois foi escolhido o plano gratuito de hospedagem do *Cloudflare*, que permite o uso de um único domínio. Após isso, o *Cloudflare* faz um *scanner* para procurar registros DNS do domínio criado para importar automaticamente para a configuração do *Cloudflare*. Depois de encontrado, foi solicitado pelo *Cloudflare* a atualização do *nameserver* no provedor que foi registrado o domínio (na *Hostinger*). Então precisa ser alterado na plataforma de registro o novo servidor DNS que foi fornecido pelo *Cloudflare*, sendo a migração realizada após algum tempo.

Posteriormente, adicionou-se a integração do *Cloudflare* no *Home Assistant*, entretanto, não é uma integração oficial do *Home Assistant*, então precisou adicionar um repositório do *GitHub* criado pela comunidade do *Home Assistant* para instalar a integração. Também, precisou criou-se o código YAML da integração do *Cloudflare*. Compilado o código, no arquivo de *logs* aparece o link para fazer a autenticação e validação do túnel. Em seguida, foi configurado no arquivo de configuração do *Home Assistant*, o *configuration.yaml*, o código que faz um *proxy* reverso (Um *proxy* reverso é um servidor que reside na frente de um ou mais servidores *web*, interceptando solicitações dos clientes (*Cloudflare*).), e nele é adicionado a faixa de endereço IP da rede local. Por fim, após a autenticação via *email*, o túnel está criado.

2.4. CONFIGURAÇÕES DO ESP32 NO ESPHOME

Para fazer a configuração do ESP32 no *ESPHome* identificou-se o modelo da placa ESP32 para integrar no *ESPHome*. Depois de encontrado e selecionado o modelo da placa, foi preciso fazer a instalação do arquivo binário (é nele que é feito o *script* dos componentes conectados ao ESP32) no ESP. Essa instalação pode ser manual, na qual realiza-se o *download* do arquivo binário e depois faz-se o *flash* dele na placa; por dispositivos conectados via USB no computador, e uma página *web* é aberta para fazer o *flash*; direto na entrada do servidor *Raspberry Pi* nesse caso); via *wireless*.

A instalação do arquivo binário neste trabalho ocorreu via USB tanto no computador quanto no servidor, inicialmente. Após isso, usou-se mais o método via *wireless*.

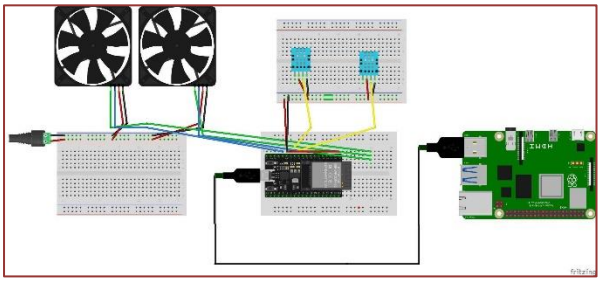
A própria plataforma do *ESPHome* fornece diversas estruturas base de código *YAML* para sensores, motores, *displays* e diversos outros componentes. Nela também é fornecido o código base de um controle PID, sendo esse código implementado no projeto, mudando os parâmetros desejados.

2.5. DIAGRAMA ESQUEMÁTICO

O diagrama esquemático do protótipo, apresentado nessa seção, consiste na montagem do circuito físico necessária para o funcionamento mínimo do sistema de monitoramento

com controle PID. Os componentes usados foram: Dois sensores de temperatura e umidade, o DHT11; Dois *coolers* de computadores; Três *protoboards*; Uma fonte de alimentação de 12 volts; Um conector *JACK DC Power* de 12 volts; Um ESP32; Um *Raspberry Pi 4 model B*. O esquemático do circuito é ilustrado na Figura 3.

Figura 3. Esquema do circuito físico



Fonte: Autora (2024).

2.6. CONFIGURAÇÕES DO SISTEMA DE MONITORAMENTO

Para criar a central de monitoramento e controle no *Home Assistant*, foi preciso criar um *Dashboard* e adicionar o código YAML de cada dispositivo a ser monitorado, plotado ou usado. Foi criado um *Dashboard* dedicado para simular um sistema de monitoramento de um silo contendo os dois sensores DHT11 (um para medidas externas e o outro para as internas do silo) e os *coolers*, e é composto por quatro painéis internos separados para cada função.

O primeiro painel é composto pelos valores de temperatura e umidades externas e internas e dois gráficos radial Gauge que medem em tempo real o valor atual captado pelo sensor interno e outro para o externo.

O segundo painel, dedicado ao controle PID do sistema, que faz o controle da tensão do PWM do *coolers* por meio da manipulação da temperatura. Entretanto, para usar o PID existe a condição que a temperatura externa precisa ser menor do que a temperatura interna para os motores não jogarem o ar quente para a parte interna do silo, então existe essa condição para não prejudicar os grãos.

No terceiro painel, é inserido os gráficos que contém os valores das temperaturas e das umidades durante um período de monitoramento de três horas.

O quarto painel é o *Dashboard* criado e exportado a integração *Grafana* que analisa individualmente cada uma das temperaturas e umidades ao longo de um período escolhido, 365 dias nesse caso, e com isso, traz relatórios, informações sobre as variáveis medidas.

2.7. CONFIGURAÇÕES DO CONTROLE PID

A própria plataforma do *ESPHome* fornece diversas estruturas base de código *YAML* para sensores, motores, *displays* e diversos outros componentes. Nela também é fornecido o código base de um controle PID, sendo esse código implementado no projeto, mudando os parâmetros desejados. Os valores atribuídos aos ganhos do controle PID neste trabalho

são os mesmos valores referenciados no projeto independente do *patrickcollins12 (2024)* publicado na plataforma do *GitHub.*

3. RESULTADOS

Este capítulo é responsável por apresentar os resultados atingidos com o desenvolvimento da pesquisa.

3.1. PAINEL RESPONSÁVEL PELO MONITORAMENTO E CONTROLE

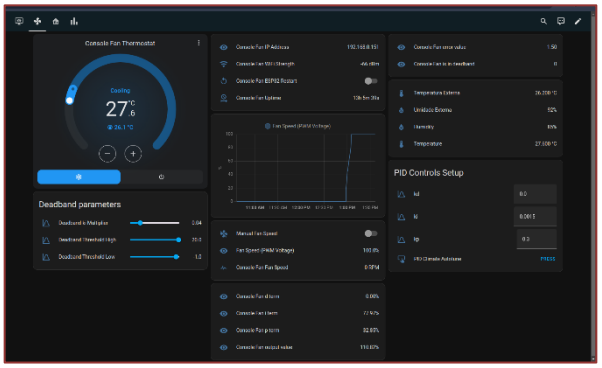
Esta seção apresentará o resultado do Dashboard criado para o sistema de monitoramento do silo. O painel de monitoramento das temperaturas e umidades no instante em que são medidas pode ser visualizado na Figura 4.

Figura 4. Painel de monitoramento em gráfico Gauge

Fonte: Autora (2024).

A Figura 5 apresenta o segundo painel e é nele que é configurado os parâmetros do controle PID.

Figura 5. Tela de controle do *Dashboard*



Fonte: Autora (2024).

Na Figura 6 é apresentado o gráfico das variáveis medidas em um período de tempo de três horas.

Figura 6. Monitoramento gráfico das temperaturas e umidades

Fonte: Autora (2024).

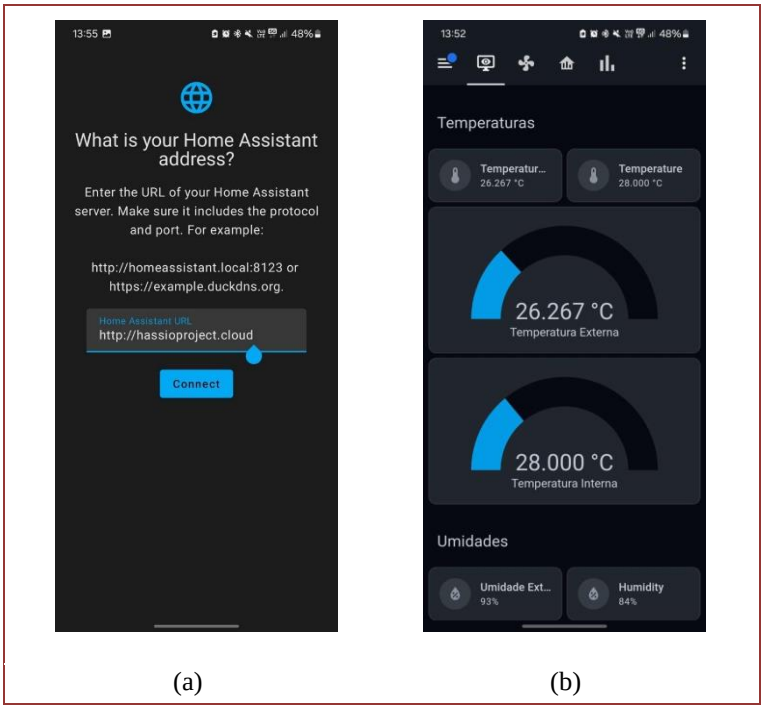
A integração com o *Grafana* no *Dashboard* do silo é o último painel e é apresentado na Figura 7.

Figura 7. Painel de monitoramento de dados temporais

Fonte: Autora (2024).

Para o resultado do acesso remoto, foi instalado o aplicativo do *Home Assistant* em um celular, para testar o acesso ao domínio criado, através de uma rede móvel. Segue o resultado do acesso remoto na Figura 8.

Figura 8. Acesso remoto ao sistema de monitoramento do silo. a) Acesso ao servidor; b) Acesso ao painel de monitoramento



(a) (b)

Fonte: Autora (2024).

3.2. CONTROLE PID

Esta seção aborda os resultados da implementação do controle PID no sistema e o comportamento das variáveis sob essa ação. A execução do teste aconteceu em um quarto onde foi ligado um ar condicionado e após duas horas, tempo mais do que suficiente para estabilizar a temperatura, foram realizados os testes. A seção foi dividida em duas subseções, a primeira dedicada aos resultados obtidos da temperatura e a segunda aos resultados da umidade do sistema. É importante lembrar aos leitores que o tema central de estudo da pesquisa é a aplicação da internet das coisas, e a implementação do controle PID neste trabalho é meramente complementar e simplória, e não é o foco de estudo, pois seria necessário mais aprofundamentos teóricos e um estudo de sintonia do PID com mais rigorismos matemáticos.

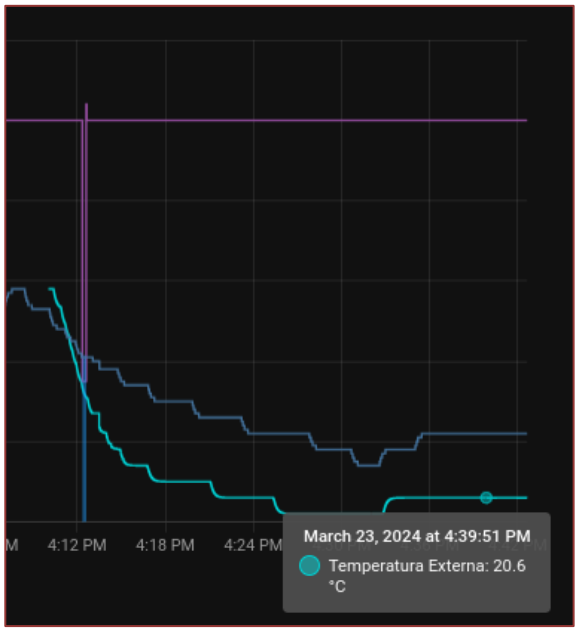
3.2.1. ANÁLISE DA TEMPERATURA DO SISTEMA

A Figura 9 mostra o momento em que a temperatura externa à caixa ficou estabilizada. Sendo a linha roxa a temperatura *target,* a linha azul a temperatura interna e a linha verde representa a temperatura externa. Na Figura 10 tem o mesmo resultado mas ampliado.

Figura 9. Temperatura externa estabilizada

Fonte: Autora (2024).

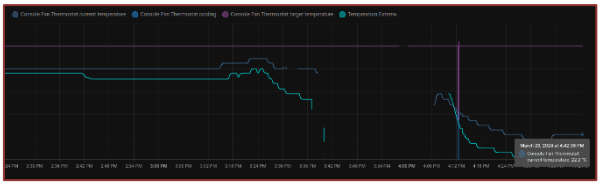
Figura 10. Temperatura externa estabilizada ampliada



Fonte: Autora (2024).

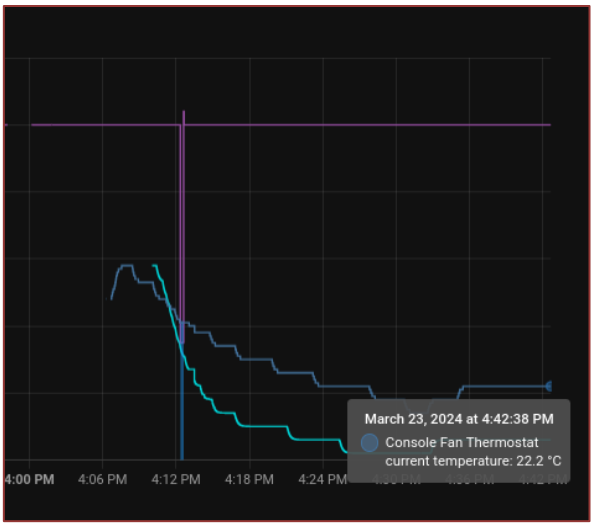
Em seguida, estabilizou-se a temperatura interna do recipiente. Esta análise pode ser vista na Figura 11 e em uma resolução melhor na Figura 12 a seguir.

Figura 11. Temperatura interna estabilizada



Fonte: Autora (2024).

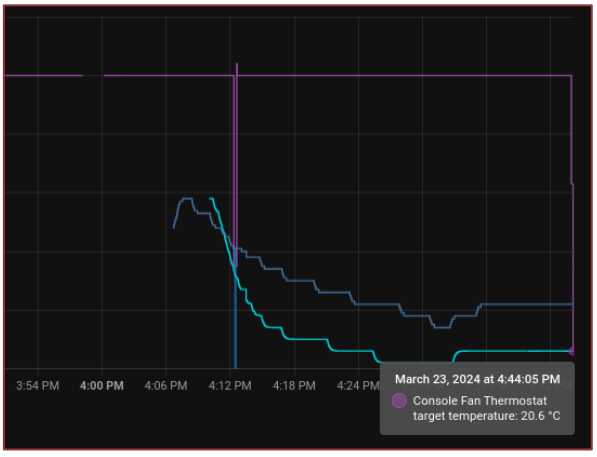
Figura 12. Temperatura interna estabilizada ampliada



Fonte: Autora (2024).

Após as duas temperaturas estabilizadas, foi preciso estabelecer uma temperatura que deseja-se atingir (temperatura *target*)internamente para a mesma medida pelo sensor externo. Essa temperatura *target* pode ser vista na Figura 13 a seguir.

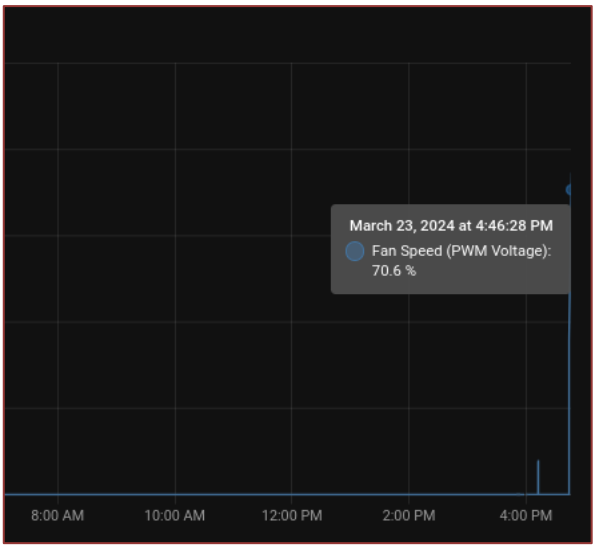
Figura 13. Temperatura *target*



Fonte: Autora (2024).

Após estabelecida a temperatura desejável, o controle PID começa a agir no sistema e pode ser visto na Figura 14 em sequência.

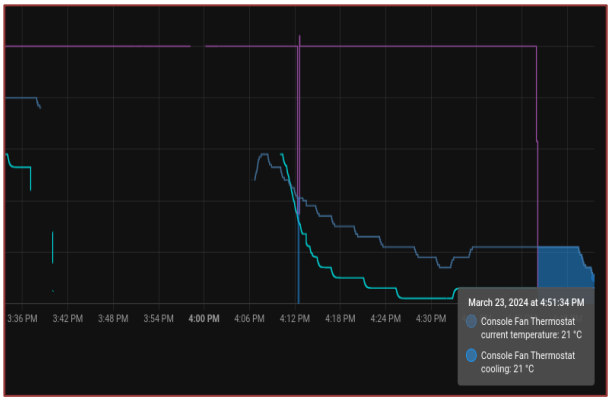
Figura 14. Acionamento do PWM dos *coolers*



Fonte: Autora (2024).

A Figura 15 a seguir mostra o momento em que a temperatura interna do sistema começa a cair quando acontece o acionamento dos *coolers*.

Figura 15. Decaimento da temperatura interna

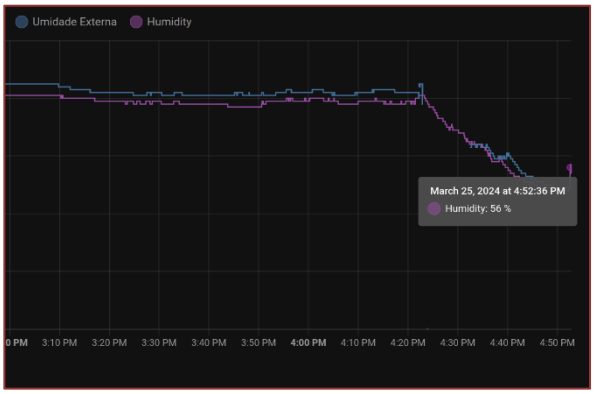


Fonte: Autora (2024).

3.2.2. ANÁLISE DA UMIDADE DO SISTEMA

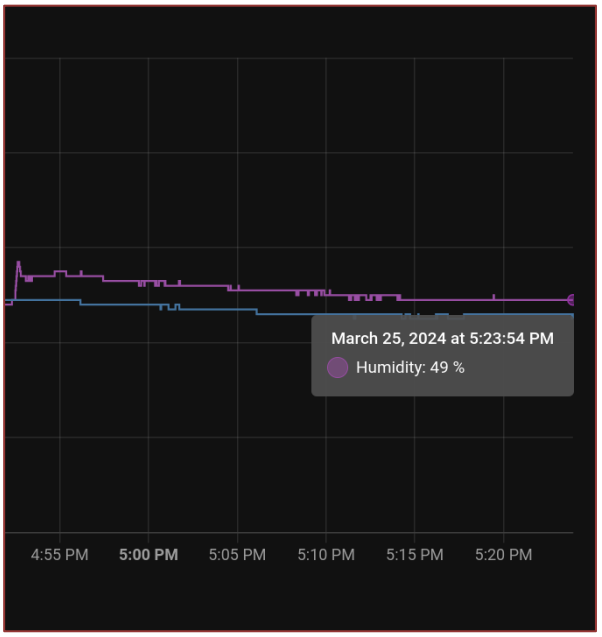
Quando acionado o controle PID e estabilizada a temperatura do ambiente, foi analisado o comportamento da umidade em um período de tempo. O resultado foi obtido após a tensão do PWM atingir 100% de funcionamento e pode ser visto na Figura 16 e na Figura 17.

Figura 16. Gráfico das umidades quando a tensão do PWM é 0%



Fonte: Autora (2024).

Figura 17. Gráfico das umidades quando a tensão do PWM é 100%



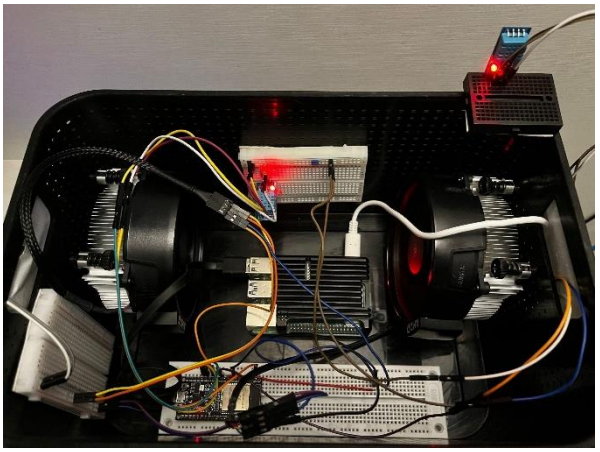
Fonte: Autora (2024).

O leitor pode compreender melhor sobre as Figuras 16 e 17 na seção 4.5.2. do capítulo seguinte, o qual aborda as discussões.

3.3. MONTAGEM DO PROTÓTIPO

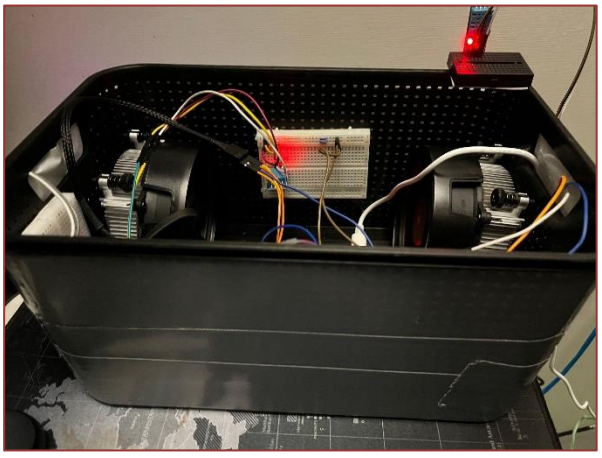
A montagem do protótipo de baixo custo pode ser vista na Figura 18 e na Figura 19 a seguir.

Figura 18. Parte interna do recipiente



Fonte: Autora (2024).

Figura 19. Parte externa do recipiente



Fonte: Autora (2024).

4. DISCUSSÃO

Neste capítulo será comentado, individualmente, os resultados que foram apresentados na seção anterior e também será comentado sobre a construção física do protótipo.

4.1. PAINEL DE MONITORAMENTO DAS GRANDEZAS ATUAIS

Apresentado na Figura 4. Este painel foi pensado em situações que precisam-se dos valores das temperaturas e umidades no instante atual.

4.2. PAINEL DE CONTROLE

O segundo painel, apresentado na Figura 5, é responsável pelo controle da tensão do PWM do *cooler* através da manipulação da temperatura, nele também é possível ver o que está acontecendo com as variáveis do PID e ver as informações do *cooler*. É nesse painel que

são configurados os parâmetros do controle PID que o usuário entende como ideal para a situação e também a temperatura que deseja-se atingir. Contudo, o uso do controle PID nessa aplicação é necessário apenas no caso em que a temperatura externa é menor que a temperatura interna do silo, caso contrário, o ar quente externo será jogado para dentro do silo.

4.3. PAINEL DE MONITORAMENTO GRÁFICO

Apresentado na Figura 6. Este terceiro painel traz informações gráficas das umidades e temperaturas. No primeiro gráfico, tem-se três parâmetros, a temperatura interna do silo (*current temperature*), a temperatura externa do silo e a temperatura que deseja-se atingir (*target temperature*) usando o controle PID.

4.4. PAINEL DE ARMAZENAMENTO DE DADOS TEMPORAIS

O último painel, mostrado na Figura 7, é a integração do banco de dados *InfluxDB* com o *software Grafana*. É neste painel que tem-se os dados coletados dos sensores a longo prazo e em qualquer intervalo de tempo escolhido pelo usuário e em tempo real. Todas as informações das temperaturas e das umidades podem ser acessadas e baixadas em forma de gráficos e tabelas para análises mais profundas do comportamento.

4.5. EFEITOS DA AÇÃO DO CONTROLE PI NO SISTEMA

A seção também foi separada em duas subseções para discutir separadamente os resultados da temperatura e a outra para discutir a umidade. Como foi citado no capítulo introdutório desta pesquisa, Silva (2018) em seu artigo intitulado “Aeração de grãos armazenados”, apresenta as condições ideais do ambiente de armazenamento, 20 graus Celsius para temperatura e 60% de umidade relativa do ar. Dessa forma, usou-se esses parâmetros como referências ideais para análise do comportamento dessas grandezas.

4.5.1. DISCUSSÃO SOBRE O RESULTADO DA TEMPERATURA

Após as condições de executar o teste, foi analisado o momento em que ficou estável a temperatura externa do sistema. A temperatura ficou estável em 20,6 graus Celsius. Como foi mostrado na Figura 9 e Figura 10 do capítulo anterior.

Em paralelo, também foi analisado o momento em que a temperatura interna do recipiente foi estabilizada. A linha azul do gráfico mostra a temperatura do sensor interno, e que sua estabilidade foi atingida em 22,2 graus Celsius.

Depois de ter as duas temperaturas estáveis, foi setado a temperatura que deseja-se atingir (*target)* internamente para a mesma temperatura externa. Dessa forma, a temperatura *target* foi setada para 20,6 graus Celsius como pôde ser vista na Figura 13.

Depois de estabelecida a temperatura *target,* o controle PID começa a agir no sistema. O gráfico da Figura 14 mostra a tensão do PWM subindo em porcentagem de uso para tentar atingir a temperatura *target,* está em 70,6% de uso.

A Figura 15 mostra o momento em que começou a cair a temperatura interna do recipiente. Após o PWM atingir 100% não há mais variação no sistema, pois os *coolers* já

estão em sua capacidade máxima de funcionamento. A temperatura atingida foi de 21 graus Celsius, sendo o maior grau de liberdade, estimador do número de categorias independentes num teste particular ou experiência estatística, que conseguiu obter nesse sistema, que foi de 1,2 graus Celsius.

4.5.2. DISCUSSÃO SOBRE O RESULTADO DA UMIDADE

Após coletar a amostra da umidade sem o acionamento do PWM, foi feita a captura dos dados ao longo do tempo. Antes de atingir 100% de uso de tensão do PWM a umidade teve poucas oscilações. A umidade medida no momento em que o PWM está 0% foi de 56% de umidade relativa do ar que foi mostrada na Figura 16 da seção 3.2.2 capítulo anterior.

Quando atingiu a porcentagem máxima de 100% de funcionamento a umidade estabilizou-se em 49%. Obtendo-se uma variação de umidade no sistema de 7%, usando o acionamento máximo da tensão do PWM dos *coolers* em um período de 30 minutos, esse resultado foi mostrado na Figura 17.

Como a variação da umidade no sistema é consequência do controle da variável de temperatura, é interessante configurar alarmes para situações que aconteçam variações críticas. Dessa forma, o Grafana, permite configurar alertas para notificar no sistema, caso o operador estabeleça que determinada variação de umidade é prejudicial no ambiente. Essa configuração de alarmes pode ser visualizada na Figura 20 a seguir.

Figura 20. Configuração de alarmes no sistema

Fonte: Autora (2024).

4.6. DISCUSSÃO SOBRE A MONTAGEM DO PROTÓTIPO

Para a montagem do protótipo, foi isolado o recipiente com fita para ter um selamento mais preciso e foi aberto apenas na parte em que foi encaixado os *coolers*. Na Figura 16 é mostrado o interior da caixa em que foi feita a montagem do protótipo. Já na Figura 17 é apresentada a parte externa da caixa.

5. CONCLUSÃO

5.1. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste trabalho foi conduzida a prototipação do sistema de monitoramento remoto de temperatura e umidade de um silo, e que permite o acesso à informação em tempo real e de qualquer lugar por meio do *software Home Assistant* que se comunica com o servidor do *Cloudflare* pelo túnel.

Para a análise dos dados captados pelos sensores de temperatura e umidade foi utilizado o banco de dados *InfluxDB* para o armazenamento e o *Grafana* para a visualização das grandezas medidas em um intervalo de tempo de 365 dias. E foi possível obter relatórios dos comportamentos e das variações das temperaturas e das umidades para análises mais profundas.

No que se refere à implementação do controle PID, foi preciso usar a integração do *ESPHome* e modificar o código fornecido pela própria plataforma, e em seguida fez-se a compilação do arquivo binário na placa ESP32.

A implementação do sistema de monitoramento remoto permite-se acompanhar em tempo real as condições do protótipo do silo. Ao monitorar remotamente, foi possível identificar rapidamente as variações indesejadas e tomar medidas preventivas para evitar danos. E com a conectividade da Internet das Coisas, também foi possível realizar o monitoramento das temperaturas e umidades interna e externa do protótipo, usando o aplicativo do *Home Assistant.*

Durante o desenvolvimento da pesquisa foram encontrados desafios, de modo que o material usado para a montagem do protótipo foi adquirido em partes, o que resultou em atrasos para estudar o funcionamento da placa *Raspberry Pi* e da ESP32, e consequentemente, na implementação do *Home Assistant,* de uma possibilidade de aprofundamento no estudo do controle PID e em sua sintonia e também, das demais etapas de execução do projeto**.**

5.2. SUGESTÕES DE PESQUISAS FUTURAS

- Implementar a construção de um protótipo mais fiel às características do problema reais em termos de materiais, grãos armazenados, capacidade de circulação de ar e condições ambientais.
- Implementar o sistema de monitoramento remoto de temperatura em um datacenter e realizar o controle dos equipamentos de refrigeração usando um controle de infravermelho *smart* com Wi-Fi.
- Explorar técnicas de estudo e processamento de sinais dos sensores e atuadores para melhor compreensão do comportamento do sistema.
- Explorar e revisar bibliografias sobre sistemas de controle.
- Implementar um projeto mais fiel quanto ao uso de um controle PID e o processo de sintonia dos ganhos.
- Investigar técnicas de segurança de dispositivos de IoT.
- Estudar otimização do controle de temperatura e umidade.

REFERÊNCIAS

[1] AYRES, G. D. J. (2021). SISTEMA INTEGRADO DE MONITORAMENTO DE PRODUTOS ARMAZENADOS EM SILOS. [S.l.]. Disponível em: <http://dspace.sti.ufcg.edu.br:8080/jspui/bitstream/riufcg/26763/1/E-BOOK%20-%20SISTEMA%20INTEGRADO%20DE%20MONITORAMENTO%20DE%20PRODUTOS%20ARMAZENADOS%20EM%20SILOS%20-%20CTRN%202021.pdf>.

[2] BICA, M. R. R. et al. Sistema de monitoramento de temperatura em silo de armazenamento de grãos com comunicação sem fio. Brazilian Journal of Development, v. 7, n. 5, p. 51409–51427, 2021

[3] CONAB. Crescimento na produção de grãos no Mato Grosso é estimada em 16,5[S.l.], 2023. Disponível em:<https://www.gov.br/secom/pt-br/assuntos/noticias-regionalizadas/safra-22-23/crescimento-na-producao-de-graos-no-mato-grosso-e-estimada-em-16-5-com-ganhos-de-produtividade>

[4] ELY, A. (2018) Redução da qualidade de grãos de soja durante o armazenamento em diferentes condições de umidade e temperatura. Revista Thema, v. 15, n. 2, p. 506–520.

[5] JÚNIOR, A. F. de L. et al. Controle de pragas de grãos armazenados: uso e aplicação de fosfetos. Revista Eletrônica Faculdade Montes Belos, v. 5, n. 4, 2012.

[6] PATRICKCOLLINS12. ESPHome Fan Control. [S.l.], 2024. Disponível em: <https://github.com/patrickcollins12/esphome-fan-controller >.

[7] SENAR/BRASILIA. Grãos:armazenamento de milho, soja, feijão e café. [S.l.], 2018. Disponível em: <https://www.cnabrasil.org.br/assets/arquivos/216-ARMAZENAMNTOS-GR%C3%83OS.pdf>.

[8] SILVA, L. C. (2018). Aeração de grãos armazenados. Cabo, v. 3, p. 3.

Capítulo 6

Desafios e perspectivas do posicionamento de glufosinato sal de amônio na dessecação pré-colheita da soja

Rafael Pessoni Pereira Nascimento Borges
Paulo Vinicius da Silva
Guilherme Pereira da Silva
Nayane Soares França
Lucas Maraus Marostica
Oscar Xavier Zanchet
Heitor Nunes Santana
Pedro Antônio Vougodo Salmazo

Resumo: A dessecação pré-colheita da soja é um manejo que visa a uniformização da área, redução de umidade dos grãos e antecipação da colheita da soja. Historicamente, esse manejo sempre foi conduzido pela aplicação do herbicida paraquat, entretanto, sua proibição levou à busca por opções semelhantes e de mesma eficácia, o que ocasionou na grande demanda pelo herbicida diquat, resultando na sua falta de disponibilidade no mercado e atrasos na colheita. Nesse contexto, na busca por produtos com ausência de residual e que proporcione a dessecação eficiente da soja, o herbicida glufosinato sal de amônio passou a ser amplamente posicionado como forma de substituição aos herbicidas inibidores do fotossistema I. Portanto, esse capítulo visou conduzir um estudo acerca das diferentes problemáticas e perspectivas futuras no posicionamento deste herbicida como resultado da sua maior demanda para a dessecação pré-colheita da soja. Foi possível observar que o impulsionamento do glufosinato no mercado ainda que tenha se dado principalmente pela escassez de produtos para a dessecação pré-colheita da soja, seu posicionamento é dificultado pela inconsistente eficácia desse herbicida em decorrência de condições ambientais como exposição à luz, temperatura e pluviosidade representando uma barreira a sua utilização. Associado a isso, o surgimento de variedades de soja resistentes a esse herbicida, como a variedade Enlist®, ainda que permita um melhor manejo de plantas daninhas na pós-emergência da cultura por meio do glufosinato, impede o seu uso para a modalidade de maior demanda, ou seja, a dessecação pré-colheita da soja, além de que em casos de posicionamento excessivo do glufosinato na pós-emergência dessa variedade pode ocasionar na perda de eficácia do único herbicida inibidor da glutamina sintetase (GS). Portanto, esse estudo permite concluir que devido a sua inconsistente eficácia sob adversidades climáticas, o posicionamento do glufosinato na dessecação pré-colheita da soja deve ser realizado de forma atenta afim de garantir a devida antecipação da colheita. Associado a isso, o posicionamento da soja Enlist® explicita uma problemática já identificada anteriormente que se refere à escassez de produtos para dessecação da soja, uma vez que com a impossibilidade de uso do glufosinato para essa modalidade, estudos e buscas por novas alternativas para esse manejo se tornam essenciais afim de compreender futuras opções viáveis que não venham a comprometer o sistema de produção da soja e da cultura plantada em sucessão.

Palavras – chave: uniformização, disponibilidade, herbicidas, transgênicos.

1. INTRODUÇÃO

1.1. IMPORTÂNCIA SOCIOECONÔMICA DA CULTURA DA SOJA

Considerada uma oleaginosa da família *Fabaceae*, a soja se posiciona como a cultura responsável por impulsionar mudanças significativas no sistema de produção agrícola no Brasil a partir da década de 60, período este, no qual o grão passou a ser produzido em larga escala no cenário de sucessão soja/trigo principalmente em regiões do sul do país. Dessa forma, a soja passou a se posicionar como uma cultura de grande importância econômica uma vez que foram observadas propriedades que conferiam ao grão diversas finalidades, como, seus altos teores de proteína que permitiram seu uso tanto na alimentação humana quanto animal, além do seu posicionamento como adubo verde e forrageiro devido aos seus altos teores de óleo vegetal e proteína (Pino & Rocha, 2020; Kumari *et al.,* 2024; Embrapa, 2020; Silva *et al.,* 2022).

No cenário de produção mundial, o Brasil se destaca entre os maiores produtores do grão, apresentando valores satisfatórios de produção mesmo sob adversidades climáticas extremas, o que tem impulsionado a movimentação de quantidades significativas de dólares anualmente. Como resultado, todo e qualquer fator que represente uma ameaça ao desenvolvimento e consequente produção do grão se torna relevante, e por isso, existe uma demanda e consequente busca contínua por inovações que venham a favorecer o seu sistema de cultivo ao proporcionar o maior rendimento dos grãos (Silva *et al.,*2022; Silva *et al.,* 2023; Conab, 2024).

1.2. A DESSECAÇÃO PRÉ-COLHEITA DA SOJA

Dentre as inovações no sistema de produção desta cultura, a dessecação pré-colheita da soja é um manejo que tem ganhado força ao longo dos anos por proporcionar vantagens como: uniformização da população, manejo de plantas daninhas, preservação da qualidade fisiológica dos grãos e redução dos teores de umidade dos grãos, permitindo assim, um menor tempo de permanência dos grãos a campo e a consequente antecipação da colheita da soja, o que por sua vez, protege os grãos contra eventuais processos de deterioração irreversíveis além de possibilitar a semeadura antecipada da próxima cultura plantada em sucessão (Kamphorst & Paulus, 2019).

A espera pela dessecação natural da cultura ocorre de forma a permitir a redução do metabolismo celular, e assim, evitar a germinação dos grãos que ainda se encontram nas vagens ligados à planta-mãe, efeito denominado viviparidade. Neste processo, ocorre a perda de água pela planta, o que resulta em uma coloração amarelada e consequente redução de tamanho e coloração nos grãos (Dias, 2021). Entretanto, esse manejo resulta em uma exposição da soja a campo por um período mais prolongado, o que a torna suscetível a fatores adversos como adversidades climáticas, patógenos e/ou pragas. o que pode resultar em prejuízos significativos para a produtividade e qualidade da produção além de proporcionar uma dessecação desuniforme o que dificulta o processo de colheita (Plácido, 2020).

Portanto, levando-se em consideração os possíveis prejuízos que podem ocorrer, produtores têm optado pela realização da dessecação pré-colheita de forma química através do posicionamento de herbicidas frequentemente de ação e não-seletivos à cultura, proporcionando assim, além dos benefícios anteriormente citados, o amplo espectro de controle, ou seja, tanto de plantas monocotiledôneas quanto

eudicotiledôneas, proporcionando assim, um cenário de alto valor quantitativo e qualitativo na produção de soja (Pinto, 2017).

Entretanto, para a realização da dessecação de forma química, deve-se atentar ao momento correto da aplicação dos herbicidas, uma vez que fatores estressantes, como a aplicação de herbicidas, podem resultar em efeitos deletérios aos grãos (Marchi *et al.,* 2021). Araújo *et al.,* (2018), ao avaliar os herbicidas glufosinato sal de amônio e diquat, observou que, ainda que ambos tenham proporcionado alta eficácia de dessecação, e consequente antecipação da colheita, se aplicados nos estágios R6 e R6.5, podem resultar em prejuízos à produtividade e qualidade fisiológica dos grãos. Entretanto, se aplicados em R7.2 não resultaram em efeitos deletérios. Dessa forma, o posicionamento de herbicidas nessa modalidade pode se dar quando as plantas se encontram com amarelecimento nas vagens e folhas entre 50 e 75% (estágio R7.2), mas principalmente quando os valores superam 75%, ou seja, estágio R7.3 (Zagonel, 2005; Griffin *et al.,* 2010; Pereira *et al.,* 2015).

Assim, realização da dessecação pré-colheita permite que a senescência da cultura ocorra em um intervalo curto de tempo. Por isso, as atividades pós-operação devem estar devidamente planejadas para serem executadas de forma rápida, uma vez que o atraso na colheita ou ainda adversidades como excesso de chuvas, podem resultar em perdas na produção (Garcia *et al.,* 2018). Ainda, em determinadas regiões produtivas, como o Mato Grosso do Sul, a semeadura da cultura plantada em sucessão, no caso, o milho safrinha, ocorre quase que de forma concomitante com a colheita da soja como registrado por levantamento da Famasul, (2024), que observou avanços significativos tanto da colheita da soja quanto da semeadura do milho no mês de março na safra 2023/24.

1.3. DISPONIBILIDADE DE HERBICIDAS PARA ESTA MODALIDADE

Essa concomitância da colheita da soja e semeadura do milho dificulta o posicionamento de herbicidas nesta modalidade, uma vez que a utilização de produtos com efeitos residuais, pode vir a acarretar em efeitos fitotóxicos à cultura do milho, a exemplo do flumioxazina, que, ainda que possa ser posicionado para a dessecação da cultura da soja, apresenta a recomendação de um intervalo mínimo de 14 dias entre a sua aplicação e a semeadura do milho, o que acarreta no atraso da sua semeadura e torna a cultura suscetível a adversidades climáticas a exemplo de geadas (Moura *et al.,* 2024; Agrofit, 2024).

Até o ano de 2020, o herbicida mais posicionado para a dessecação pré-colheita era o paraquat, um herbicida de ação de contato, não seletivo e com amplo espectro de controle, características estas, que possibilitaram o seu uso em diferentes modalidades e culturas, principalmente na pré-colheita da soja (Zobiole *et al.,* 2018; Kalsing *et al.,* 2020; Ballealoui *et al.,* 2020). Entretanto, estudos realizados identificaram influência de seu uso no surgimento do mal de Parkinson, levando a sua proibição em diversos países, incluindo no Brasil em 2017, decisão essa, que veio a ser revogada devido à falta de alternativas para o herbicida, levando a sua restrição de uso até 2020, ano no qual foi oficialmente proibido (Camargo *et al.,* 2020; Kim, 2020; Tsai, 2020; Anvisa, 2017). Essa decisão resultou em alterações profundas na dessecação pré-colheita da soja, uma vez que demandou a busca de produtos alternativos que apresentem eficácia de controle semelhante (Albrecht *et al.,* 2022).

Assim, dentre as alternativas de herbicidas para a dessecação pré-colheita, destaca-se o posicionamento do diquat e do glufosinato sal de amônio, além de alguns herbicidas inibidores da PROTOX ainda que de forma menos frequente, como flumioxazina, saflufenacil, carfentrazona e tiafenacil. Vale ressaltar, que ainda que os herbicidas mais posicionados sejam diquat e glufosinato sal de amônio devido a sua rápida ação, ambos se mostram altamente dependentes de condições climáticas no momento da aplicação (Moura *et al.,* 2024; Carmo *et al.,* 2023; Park *et al.,* 2018).

Devido a sua rápida eficácia e ação semelhante à do paraquat, houve um aumento na procura pelo diquat, herbicida este, que sob condições ideais de aplicação, ou seja, ao final da tarde, consegue atingir outros órgãos da planta proporcionando sua devida dessecação. Essas vantagens resultaram em uma maior procura deste herbicida após o banimento do paraquat, sendo então o mais posicionado para a dessecação pré-colheita da soja.

Como resultado, no ano de 2022, a Associação Brasileira dos Produtores de Soja (Aprosoja) divulgou nota oficial na qual afirma que foi observado falta de produtos adequados para a dessecação da soja devido à falta de diquat no mercado, o que de acordo com a associação, representa uma ameaça real para a produção, podendo resultar em prejuízos significativos à safra. Por isso, foi solicitado pela Aprosoja ao Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) a liberação emergencial do registro para importação do diquat visando manter níveis satisfatórios de produção. Entretanto, como o diquat é o único produto a apresentar eficácia e modo de ação semelhante ao paraquat, produtores foram obrigados a posicionar diferentes herbicidas para esta modalidade.

1.4. O HERBICIDA GLUFOSINATO SAL DE AMÔNIO

Dessa forma, o glufosinato sal de amônio passou a ser posicionado com maior frequência na dessecação pré-colheita da soja. Se trata de um herbicida de ação rápida, amplamente utilizado como dessecante e o único registrado que age por meio da inibição da enzima glutamina sintetase (GS) (Takano & Piasecki, 2024). A sua aplicação leva ao acúmulo rápido de amônia nas células vegetais, à redução de glutamina e de outros aminoácidos essenciais, o que resulta na diminuição da fixação de CO_2, desenvolvimento de clorose, e assim, na morte da planta (Donthi & Kumar, 2022). É um herbicida classificado como ácido fosfínico pertencente à classe dos organofosforados (Zhou *et al.,* 2020) cuja absorção ocorre principalmente por difusão celular, o que significa que sua penetração nas células vegetais depende dos gradientes de concentração de glufosinato de amônio entre o meio extracelular e intracelular (Takano et al., 2020).

A cenário comercial, o glufosinato sal de amônio teve sua comercialização iniciada na América do Norte, mais especificamente no Canadá por volta da década de 90, e a partir de então, apresentou uso crescente ao longo dos anos, sendo que no ano de 2014, atingiu valores de 12 milhões de hectares tratados e ainda nos dias atuais representa incremento nos sistemas produtivos devido à falta de herbicidas posicionados para a dessecação pré-colheita da soja, e ainda, como alternativa de controle para biótipos de plantas daninhas resistentes ao glifosato (Busi *et al.,* 2018; Heap, 2024; Takano *et al.,* 2020).

Além disso, o desenvolvimento e a comercialização de culturas tolerantes ao glufosinato de amônio tornaram esse herbicida um elemento essencial no manejo de plantas daninhas. No entanto, embora a resistência ao glifosato tenha sido um dos principais fatores para o aumento de sua comercialização, a área tratada com glifosato ainda é

consideravelmente maior do que aquela tratada com glufosinato de amônio. Estudos sugerem que isso ocorre devido à eficácia inconsistente do glufosinato, uma vez que sua performance é extremamente depende de fatores climáticos e condições ambientais no momento da aplicação (Donthi & Kumar, 2022).

2. DESAFIOS

2.1. INCONSISTÊNCIA DO GLUFOSINATO EM DECORRÊNCIA DE CONDIÇÕES CLIMÁTICAS

Sob condições normais e ausência de estresse, as plantas produzem baixos níveis de espécies reativas de oxigênio (EROs) naturalmente. No entanto, essas substâncias não se acumulam, pois há uma intensa atividade de mecanismos antioxidantes, mantendo um equilíbrio delicado. Dessa forma, a taxa de O_2 consumido pelas plantas que resulta na formação de EROs é inferior a 2%, devido à manutenção desse balanço entre EROs e mecanismos antioxidantes. Contudo, esse equilíbrio pode ser perturbado por diferentes tipos de estresse, como a aplicação de herbicidas (Traxler et al., 2023).

No caso do glufosinato de amônio, embora seu mecanismo de ação principal seja a inibição da enzima glutamina sintetase, seu rápido efeito fitotóxico nas plantas provavelmente não é resultado apenas dessa inibição. Se fosse o caso, o glufosinato apresentaria uma velocidade de ação comparável à de herbicidas inibidores de outras enzimas, como os inibidores da acetolactato sintetase ou o glifosato, que inibe a EPSPS. Estudos recentes sugerem que sua eficácia acelerada está relacionada à formação de espécies reativas de oxigênio (EROs), que causam peroxidação maciça de lipídios nos tilacóides dos cloroplastos, levando à destruição das membranas celulares e à morte celular (Takano *et al.*, 2019; Takano *et al.,* 2020; Abdeen & Miki, 2009).

É importante destacar que a inibição da enzima GS desempenha um papel crucial na formação de espécies reativas de oxigênio (EROs). Quando plantas tratadas com glufosinato são expostas à luz, seu sistema antioxidante é sobrecarregado pela inibição da GS, levando o fluxo de elétrons a ser aceito pelo O_2 proveniente da hidrólise da água. Isso resulta na formação de EROs. Assim, o glufosinato afeta de maneira significativa os processos de fotorrespiração e transporte de elétrons nas plantas, que respondem fisiologicamente à aplicação com um aumento expressivo na atividade de enzimas antioxidantes em um esforço para restabelecer o equilíbrio delicado entre os mecanismos antioxidantes e a produção de EROs. Entretanto, a formação de EROs e consequente eficácia do glufosinato é extremamente foto-dependente (Takano *et al.,* 2019; Takano et al., 2020; Abdeen & Miki, 2009).

Assim, o glufosinato sal de amônio se posiciona como um herbicida controverso uma vez que sua eficácia varia de acordo com condições climáticas e de exposição à luz (Takano & Piasecki, 2020), o que se deve a dois fatores: (1) atividade da enzima GS e (2) formação de EROs. Sob condições de ausência de luz, ou seja, aplicações noturnas, a atividade da enzima GS é mínima, o que impede a sua devida inibição e faz com que o glufosinato que se encontra no interior vegetal, ao não se ligar à GS, seja compartimentalizado e perda sua capacidade de inibição. Em relação à formação de EROs, por ser uma reação extremamente foto-dependente, sob condições noturnas, a baixa produção desses elementos permite que a planta sintetize novas enzimas, impedindo a sua eficácia. Controversamente, sob exposição à luz, além da enzima GS se encontrar em máxima atividade – o que possibilita a sua maior inibição pelo glufosinato – a formação de EROs é

tão massiva, que impede a síntese de mais enzimas GS, favorecendo assim, a devida dessecação pelo glufosinato (Takano *et al.,* 2020).

Associado a isso, nos últimos anos tem-se observado inconsistências climáticas em relação a características como quantidade e intensidade de precipitações e intensidade luminosa. Essas adversidades, ao coincidirem com o final do ciclo da soja, ou seja, o momento da dessecação pré-colheita, podem interferir de forma significativa na eficácia do glufosinato sal de amônio, o que consequentemente, impede a dessecação da cultura, e assim, a consequente antecipação da colheita (Moura *et al.,* 2024; Famasul, 2023).

Dessa forma, vale ressaltar que os resultados referentes à eficácia do glufosinato sal de amônio na dessecação pré-colheita da soja sejam plenamente conhecidos, e consequentemente, o herbicida se posicione como uma boa alternativa para o paraquat e diquat, é essencial o conhecimento acerca do impacto fisiológico ocasionado pela sua aplicação afim de compreender melhor seu modo de ação (Albrecht *et al.,* 2023; Takano & Dayan, 2020).

2.2. EVENTOS TRANSGÊNICOS E A AUSÊNCIA DE GLUFOSINATO

A cenário nacional, aproximadamente 73% das cultivares de soja semeadas são consideradas transgênicas, ou seja, organismos geneticamente modificados (OGM) que passaram por alteração no material por meio de engenharia genética (CTNBio, 2020). O posicionamento desses organismos serviu como incremento para a produção e qualidade dos grãos de soja sem a necessidade de aumento da área cultivada ao permitir manejo efetivo em termos fitotécnicos (Oliveira *et al.,* 2020). O processo de transgenia utilizado envolve a inserção de gene exógeno na planta de forma artificial por meio de agrobactéria afim de obter alguma característica benéfica. Entretanto, de acordo com dados da CTNBio, (2020), o tempo para liberação de uso comercial leva aproximadamente 13 anos de pesquisa, cuja demora se dá pelo fato de que essas tecnologias tem que estar em conciliação com as leis e passar por vigorosos testes até sua aprovação.

O desenvolvimento de OGMs se iniciou com o objetivo primordial de promover ação benéfica que resulte em retornos produtivos para o produtor. Dentre as ações, pode-se citar o manejo de plantas daninhas, uma vez que a infestação por estas pode resultar em perdas de produtividade de até 80% além de interferir em manejos essenciais (Silva *et al.,* 2005). Em épocas nas quais não havia a disponibilidade do manejo de plantas daninhas em cultivos transgênicos com tolerância a herbicidas, o desafio primordial no manejo dessas plantas era encontrar um único herbicida que apresentasse amplo espectro de controle e que simultaneamente fosse seletivo à cultura (Albrecht *et al.,* 2012).

Assim, tanto para a cultura da soja quanto para a do algodão, uma das primeiras características a ser obtida por meio de eventos transgênicos foi a tolerância a herbicidas, sendo que a primeira planta transgênica foi produzida pela empresa Monsanto® e apresentava resistência ao herbicida glifosato, sendo denominada *Roundup Ready* (RR) (Borém, 2005). Essa tecnologia foi primordial para o desenvolvimento da cultura da soja e para a evolução no desenvolvimento de materiais transgênicos (Monsanto, 2012).

Sendo assim, atualmente a quantidade de eventos transgênicos com tolerância a herbicidas já totaliza aproximadamente 266 aprovados mundialmente, sendo que referente à soja, há 32 eventos mundialmente e 15 nacionalmente (ISAAA inc., 2023). Dentre essas, na safra de 2021, a empresa Corteva Agriscience® lançou a tecnologia Enlist® que apresenta tolerância aos ingredientes ativos glufosinato sal de amônio, 2,4-D

e glifosato. Essa característica foi obtida por meio da introdução do gene *pat*, oriundo da bactéria *Streptomyces viridochromogenes* e do gene AAD-12 da bactéria *Delftia acidovorans* (ISAAA inc., 2023).

Em relação ao controle de plantas daninhas na pós-emergência da cultura, pode-se afirmar que essa tolerância conferida facilita o manejo uma vez que permite a seletividade à cultura. Entretanto, controversamente, essa tecnologia representa ainda um desafio para a dessecação pré-colheita da soja uma vez que o glufosinato sal de amônio é amplamente empregado nesta modalidade após a retirada do paraquat do mercado (Oliveira *et al.,* 2020; Agrofit, 2024).

Associado a isso, deve se levar em consideração que no combate a biótipos de plantas daninhas a herbicidas, um manejo muito empregado é a rotação de mecanismos de ação. No cenário do glufosinato sal de amônio, parte do impulsionamento da sua comercialização se deve ao combate de biótipos resistentes ao herbicida glifosato. Portanto, o cultivo da soja Enlist®, por mais que permita um melhor manejo na pós-emergência da soja, representa também a perda de um mecanismo de ação no manejo de plantas daninhas resistentes, além da perda de um dos principais produtos posicionados na dessecação pré-colheita implicando na necessidade da busca por alternativas (Christoffoleti *et al.,* 2000; Takano *et al.,* 2020b).

3. CONCLUSÃO

Compreender a necessidade do correto posicionamento do glufosinato sal de amônio se torna essencial devido à escassez de alternativas para essa modalidade. Dessa forma, realizar a sua aplicação sob condições ambientais ideais garante não somente a antecipação da colheita, mas também a sustentabilidade do sistema de produção. Ainda, o surgimento de cultivares resistentes a esse herbicida (Enlist®) tornam explícito a escassez já citada anteriormente, demandando a realização de estudos e buscas por novas alternativas para esse manejo que permitam a devida eficácia e não ocasionem em efeitos deletérios à cultura plantada em sequência.

REFERÊNCIAS

[1] ABDEEN, A., & MIKI, B. The pleiotropic effects of the bar gene and glufosinate on the Arabidopsis transcriptome. Plant Biotech J 7:266-282, 2009.

[2] AGROFIT, 2024. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Agrofit, Consulta aberta disponível em: <0>. Acesso: 16 de jan. 2024.

[3] ALBRECHT, L. P. et al. glyphosate e associações em pós-emergência no desempenho agronômico e na qualidade das sementes de soja RR. Planta Daninha, v. 30, n. 1, p. 139-146, 2012.

[4] ALBRECHT, L. P., YOKOYAMA, A. S., ALBRECHT, A. J. P., KOSINSKI, R., MILLEO, R., & SILVA, A. F. M. Glufosinate and diquat in pre-harvest desiccation of soybean at four phenological stages, and their impact on seed quality. *Chilean journal of agricultural research*, *82*(3), 448-456, 2022.

[5] ANVISA. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. [Vote of the board of sanitary regulation No. 56, of September 19, 2017. Analyzes the toxicological reassessment of the active ingredient paraquat]. Brasília: Agência Nacional de Vigilância Sanitária; 2017. Portuguese.

[6] APROSOJA. Falta de dessecante trará prejuízos à safra brasileira de soja. 18 de jan. 2022. Disponível em: https://aprosojabrasil.com.br/comunicacao/blog/noticiasnovidades/2022.

[7] ARAUJO, D.L., LAZZARI, M.P., DUTRA, R., LAJUS, C.R., KLEIN, C., CERICATO, A., *et al.* 2018. Influence of soybean desiccation periods on its germination potential and yield components. Revista Brasileira de

Ciências Agrárias 13(4):e5584. doi:10.5039/agrarian v13i4a5584.

[8] BELLALOUI, N., BRUNS, H. A., ABBAS, H. K., FISHER, D. K., MENGISTU, A. Effects of harvest-aids on seed nutrition in soybean under midsouth USA conditions. *Plants*. 2020;9(8):1-16. Available from: https://doi.org/10.3390/ plants9081007.

[9] BORÉM, A. Melhoramento de espécies cultivadas. Viçosa, Editora UFV. 969p. 2005.

[10] BUSI, R., GOGGIN, DE., HEAP, I. M., HORAK, M. J., JUGULAM, M., MASTERS, R. A., *et al.*, Weed resistance to synthetic auxin herbicides. Pest Manag Sci 74:2265-2276 2018.

[11] CAMARGO, E. R., ZAPIOLA, M. L., AVILA, L. A., GARCIA, M. A., PLAZA, G, GAZZIERO, D. L. P. et al. Current situation regarding herbicide regulation and public perception in South America. *Weed Sci*. 2020;68(3):232-9. Available from: https:// doi.org/10.1017/wsc.2020.14.

[12] CARMO, G. L. D. F. R., FILHO, C. L. L. D., ANDRADE, M. B., TEIXEIRA, D. K. M., ALVES. Use of ammonium glufosinate and diquat in soybean field desiccation. Braz J Sci 2:54–63, 2023.

[13] CHRISTOFFOLETI, P. J., MEDEIROS, D. E., MONQUEIRO, P. A., PASSINI, T. Plantas daninhas à cultura da soja: controle químico e resistência a herbicidas. In: CÂMARA,g.M.S. (Ed.) *Soja: tecnologia da produção*. Piracicaba: ESALQ, p.179-202. 2000.

[14] CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. Acompanhamento da Safra Brasileira. Grãos, safra 2023/24, 10° Levantamento, vol, 11, jul. 2024.

[15] CORTEVA. Os eventos de soja transgênica contidos nas variedades de sojas Enlist E3® e Conkesta E3®. Disponível em: <https://www.corteva.com.br/produtos-e-servicos/tecnologias/sistema-enlist.html>. Acesso em: 20 de jan. 2023.

[16] CTNbio. Comissão técnica nacional de biossegurança. Consulta aberta disponível em; <http://ctnbio.mctic.gov.br/processo-de-ogm>. Acesso em: 07 de mar. 2023.

[17] DIAS, D. C. F. S. Maturação de Sementes. Seed News. 06 nov. 2001. Bimestral. Disponível em: https://seednews.com.br/artigos/2179-maturacao-de-sementes-edicao-novembro-2001. Acesso em: 12 de mar. 2021.

[18] DONTHI, D. N. R., & KUMAR, A. D. Glufosinate Ammonium An Overview. *India: Pesticide Action Network*, 2022.

[19] EMBRAPA. Tecnologias de Produção de Soja / Claudine Dinali Santos Seixas... [et al.] editores técnicos. – Londrina : Embrapa Soja, 2020. 347 p. - (Sistemas de Produção / Embrapa Soja, ISSN 2176-2902 ; n. 17)

[20] FAMASUL – Federação da agricultura e pecuária Mato Grosso do Sul. Notícias – Grãos (2023).

[21] GARCIA, R. A. Dessecação é uma importante estratégia no manejo da soja. Disponível em:< https://www.embrapa.br/busca- de-noticias/-/noticia/31835117/dessecacao-e-uma-importante-estrategia-no-manejo-da-soja>. Acesso em: 18 de jan. 2023.

[22] GRIFFIN, J. L., BOUDREAUX, J. M., MILLER, D. K. Herbicides as harvest aids. Weed Sci. 2010, 58, 355–358.

[23] ISAAA'sgM Approval. **Serviço Internacional para Aquisição de Aplicações de Agrobiotecnologia** Consulta aberta disponivel em: <https://www.isaaa.org/gmapprovaldatabase/> . Acesso: 23 de jan. 2023.

[24] KALSING, A., ROSSI, C. V. S., LUCIO, F. R., MINOZZI, G. B., GONÇALVES, F. P., VALERIANO, R. Efficacy of control of glyphosate-tolerant species of the Rubiaceae family through double-knockdown applications. *Planta Daninha*. 38:1-9, 2020. Available from: https://doi.org/10.1590/S0100-83582020380100023

[25] KAMPHORST, A., PAULUS, C. Herbicidas para dessecação pré-colheita em soja como alternativa em substituição ao Paraquat. Rev Cultiv Saber 2019:54–62, 2019.

[26] KIM, J. W., KIM, D. S. Paraquat: toxicology and impacts of its ban on human health and agriculture. *Weed Sci.* 68(3):208-13, 2020. Available from: https://doi.org/10.1017/wsc.2019.70.

[27] KUMARI, A., PRICE, A. J., GAMBLE, A., LI, S., & JACOBSON, A. Integrating cover crops and herbicides for weed control in soybean. *Weed Technology*, *38*, e38, 2024.

[28] MARCHI, C. S., ALBRECHT, A. J. P., ALBRECHT, L. P., NOVALOSKI, F. P., SILVA, A. F. M., & MUNDT, T.

T. Quality of soybean seeds under application of herbicides or growth regulators. Revista Brasileira de Ciências Agrárias 16(1):e8322. doi:10.5039/agraria.v16i1a8322, 2021.

[29] MONSANTO. Produtos: herbicidas. 2012. Disponível em: http://www.monsanto.com.br/produtos/herbicidas/ herbicidas.asp . Acesso em: 13 de dez. 2022.

[30] MOURA, J. V. DE O., MEDEIROS, E. DA S., DA SILVA, P. V., SCHEDENFFELDT, B. F., MONQUERO, P. A., DA SILVA, G. P., ... & Masetto, T. E. Herbicides in Pre-Harvest Desiccation of X-Tend Soybean, 2024.

[31] OLIVEIRA, A. P. de; FERREIRA, B. S. BIOTECNOLOGIA ALIADA DA AGRICULTURA E NA PRODUTIVIDADE DA SOJA. Revista científica eletrônica de ciências aplicadas da FAIT, 2020. Itapeva-SP. Disponível em: http://fait.revista.inf.br/imagens_arquivos/arquivos_destaque/SMli3MfWJotMX7I_2021-6-8- 16-41-51.pdf. Acesso em: 18 jun. 2024.

[32] PARK, J. Y. O., AHN, J. W., NAM, M. K., HONG, N., SONG, T., KIM, G. H., YU, S. K., SUNG. Biochemical and physiological mode of action of tiafenacil, a new protoporphyrinogen IX oxidase-inhibiting herbicide. Pest Biochem Physiol 152:38–44, 2018.

[33] PEREIRA, T., COELHO, C. M. M., SOBIECKI, M., SOUZA, C. A. Physiological quality of soybean seeds depending on the preharvest desiccation. Planta Daninha 2015, 33, 441–450.

[34] PINO, F. A., & ROCHA, M. B. Transmissão de preços de soja no Brasil. *Revista de Economia e Sociologia Rural*, *32*(4), 345-361, 2020.

[35] PINTO, R. S. *et al*. Qualidade degrãos de soja em diferentes épocas de colheita. Nativa, v. 5, p. 463-470, 2017.

[36] PLACIDO, H. F. Como fazer a dessecação da soja para colheita eficiente, 2020. Disponível em:<https://blog.aegro.com.br/dessecacao-de-soja-para colheita/#>. Acesso em: 12 de fev. 2023.

[37] SILVA, F., BORÉM, A., SEDIYAMA, T., & CÂMARA, G. *Soja: do plantio à colheita*. Oficina de Textos, 2022.

[38] SILVA, A. A. et al. Aspectos fitossociológicos da comunidade de plantas daninhas na cultura do feijão sob diferentes sistemas de preparo do solo. **Planta Daninha**, v. 23, n. 1, p. 17-24, 2005.

[39] SILVA, G. F. D., CHAMMA, L., LUPERINI, B. C. O., CHAVES, P. P. N., CALONEGO, J. C., NAKAGAWA, J., & SILVA, E. A. A. D. Physiological quality of soybean seeds as a function of soil management systems and pre-harvest desiccation. *Agronomy*, *13*(3), 847, 2023.

[40] TAKANO, H. K., BEFFA, R. S., PRESTON, C., WESTRA, P. & DAYAN, F. E. Physiological factors affecting uptake and translocation of glufosinate. J Agric Food Chem 68:3026-3032, 2020.

[41] TAKANO, H. Herbicidas inibidores da enzima glutamine sintetase (GS). *In:* PIASECKI, C. Como Funcionam os Herbicidas. Santo Ângelo, Brasil: Metrics, 2024.p.31-52.

[42] TAKANO, H. K., PATTERSON, E. L., NISSEN, S. J., DAYAN, F. E., GAINES, T. A. Predicting herbicide movement across semi-permeablemembranes using three phase partitioning. Pestic. Biochem. Physiol. 159, 22–26, 2019.

[43] TRAXLER, C., GAINES, T. A., KÜPPER, A., LUEMMEN, P., & DAYAN, F. E. The nexus between reactive oxygen species and the mechanism of action of herbicides. *Journal of Biological Chemistry*, 105267, 2023.

[44] TSAI, W. T. Status of herbicide use, regulatory management and case study of paraquat in Taiwan. Environ Dev Sustain. 2020;22(3):2673- 83. Available from: https://doi.org/10.1007/s10668-018-0293.

[45] ZAGONEL, J. Herbicide application timing in preharvest desiccation of soybean cultivars with different growth habits. J. Environ. Sci. Health Part B Pestic. Food Contam. Agric. Wastes. 40, 13–20, 2005.

[46] ZHOU C, LUO, X., CHEN, N., ZHANG, L. & GAO, J. C. P. natural products as next-generation herbicides: chemistry and biology of glufosinate. J Agric Food Chem 68:3344-3353, 2020.

[47] ZOBIOLE, L. H. S., KRENCHINSKI, F. H., PEREIRA, G. R., RAMPAZZO, P. E., RUBIN, R. S., LUCIO, F. R. Management programs to control Conyza spp. in pre-soybean sowing applications. *Planta Daninha*. 36:1-8, 2018. Available from: https://doi.org/10.1590/S0100-83582018360100076.

Capítulo 7

Perspectivas futuras do manejo de plantas daninhas na cultura da mandioca (Manihot esculenta Crantz)

Lucas Maraus Marostica
Paulo Vinicius da Silva
Rafael Pessoni Pereira Nascimento Borges
Isabela Tognon Pereira
Nayane Soares França
Pedro Antonio Vougodo Salmazo
Guilherme Pereira da Silva
João Pedro Assis Ozório

Resumo: A mandioca é uma cultura essencial, cultivada em mais de 100 países, e é crucial para a segurança alimentar, especialmente em áreas de baixa renda. A necessidade de aumentar a produção de alimentos básicos, como a mandioca, para combater a fome, especialmente com o crescimento populacional e a limitação de recursos torna-se cada vez mais importante o cultivo da mandioca. Dentre os maiores produtores da cultura, países como Nigéria e República Democrática do Congo se destacam na produção, enquanto na Ásia, a Tailândia e a Indonésia lideram em tecnologia e exportação de derivados. No Brasil, a mandioca é cultivada em 1,24 milhões de hectares, com uma produção de 19,13 milhões de toneladas em 2023, concentrando-se principalmente no Pará, que para produção de farinha, e no Paraná, que se destaca na fabricação de fécula e derivados como tapioca, sagu e polvilho com técnicas mais avançadas. A adoção de tecnologia no cultivo está aumentando, embora muitos agricultores ainda utilizam métodos tradicionais. No entanto, a produtividade enfrenta desafios como pragas e doenças, o que torna necessária a utilização de variedades melhoradas e tecnologias, como irrigação e controle de plantas daninhas. Portanto, esse capítulo visou conduzir um estudo acerca das diferentes problemáticas e perspectivas futuras no posicionamento de herbicidas na cultura da mandioca. Projetos como o RENIVA, da Embrapa, buscam melhorar a qualidade genética das manivas, beneficiando todos os tipos de produtores. Apesar disso, a falta de capacitação técnica é um obstáculo para aumentar a produtividade. A gestão de plantas daninhas é crucial, pois essas ervas podem reduzir a produção. Métodos culturais e químicos são empregados para o controle, sendo o uso de herbicidas cada vez mais comum devido à escassez de mão de obra. Atualmente, o Brasil conta com apenas dez princípios ativos de herbicidas para a mandioca, limitando as opções de controle. Portanto, esse estudo permite concluir a suma importância da mandioca e a necessidade de pesquisas focadas no uso de herbicidas, visando melhorias na produtividade e contribuindo para a viabilidade econômica dos produtores. O investimento em pesquisas nesse setor possui grande carência, entretanto é essencial para o avanço da fitotecnia na cultura da mandioca.

Palavras-chave: amido, mandioca, fitotoxicidade.

1. PANORAMA ECONÔMICO E DE PRODUÇÃO DE MANDIOCA, ASPECTO NACIONAL E INTERNACIONAL

A cultura da mandioca (*Manihot esculenta* Crantz) está presente em mais de 100 países. Ela é utilizada como matéria prima para produção de diversos produtos, na alimentação animal e humana, constituinte da cesta básica por estar na composição de diversos produtos. Pela diversidade de uso, é utilizada em programas de redução da fome, principalmente nas regiões mais pobres do mundo. Dessa forma, órgãos como a Organização das Nações Unidas para a Agricultura e Alimentação (FAO), vem alertando para a necessidade de aumentar a produção de alimentos básicos, dentre eles a mandioca (Groxko & Pereira, 2022).

O aumento expressivo da população mundial associado à disponibilidade limitada de recursos demandou a busca por alimentos que permitam melhor oferta de mercado (Bahar *et al*., 2020). Assim, a cultura da mandioca se posicionou como uma alternativa viável de produção permitindo a redução da insegurança alimentar, da fome e da pobreza (Tomlins *et al*., 2021). Fato esse que pode ser associado ao continente africano, que passa por grandes dificuldades, e a ainda são referências na produção de mandioca, visto que é cultura de grande importância socioeconômica no continente. Onde os principais produtores da cultura são a Nigéria, República Democrática do Congo e Gana. Nas últimas décadas, o cultivo de mandioca vem crescendo anualmente e tornando a mandioca um alimento de segurança nacional. Onde a produção passou de 40 milhões para 192 milhões de toneladas nos últimos 50 anos (Groxko & Pereira, 2022).

No continente Asiático, a cultura da mandioca vem atingindo um grau tecnológico mais avançado, diferentemente do continente Africano, onde a produção é baixa e com escassez de tecnologias. A Tailândia e Indonésia são os principais países asiáticos responsáveis pela produção de mandioca, os quais apresentam grandes construções de indústrias nos últimos anos, fator determinante para que a Tailândia represente o país com maior exportação de mandioca e seus derivados (Groxko & Pereira, 2022).

Nesse contexto, em cenário nacional, o Brasil apresenta atualmente a quarta maior área cultivada do mundo, totalizando 1,24 milhões de hectares destinados à produção de mandioca. No quesito produção, o Brasil está na quinta colocação mundial com 19,13 milhões de toneladas e vem ganhando destaque na produção da cultura, apresentando aumento de 2,5% no ano de 2023 em relação a safra passada, fato este, que se deve principalmente ao aumento de área cultivada, que apresentou cresceu 2,2%, além de estimar-se aumento de 1,43% de produtividade nas áreas (Conab, 2024).

Ao analisar a cultura da mandioca, é essencial considerar as especificidades territoriais dessa produção. A produção brasileira de mandioca está concentrada em dois estados: Pará, na região Norte, e Paraná, no Sul do Brasil. O Pará possui a maior área cultivada, predominantemente em sistemas de produção familiar, com a principal finalidade de fabricação de farinha para o consumo local. A farinha é um alimento básico na região, gerando uma demanda significativa e conferindo à produção de raízes uma dinâmica própria. Em 2024, o estado deverá responder por 20% da produção nacional de mandioca (Conab, 2024)

Por outro lado, o Paraná apresenta uma dinâmica produtiva distinta. A maior parte da produção paranaense destina-se à fabricação de fécula, e as áreas cultivadas são caracterizadas por uma agricultura de maior tecnologia, resultando em uma produtividade quase o dobro da do Pará. Além disso, as estimativas indicam um aumento na produção paranaense, em contraste com a tendência de outros estados (Conab, 2024).

Em 2024, segundo o IBGE, o Paraná deverá produzir 19,82% da produção brasileira de raízes, comparado a 17,62% no ano anterior, em uma área de 139.600 hectares. O Paraná é um importante produtor de fécula e desempenha um papel crucial no fornecimento de farinha para a região Nordeste.

O Mato Grosso do Sul produziu em 2023 cerca de 1.156.934 toneladas de mandioca em uma área de 52.064 hectares, tendo como rendimento médio cerca de 22.221 Kg por hectare. A produção no estado está mais concentrada na região sul do estado, tendo grande produção no Vale do Ivinhema e na região de Itaquiraí, o qual foi o município mais produtivo do estado em 2023 (IBGE, 2024).

2. A TECNIFICAÇÃO DA CULTURA DA MANDIOCA E DIFUSÃO DE INFORMAÇÕES TÉCNICAS, PERSPECTIVAS E DESAFIOS

O cultivo de mandioca vem sendo cultivado na maioria de forma intensiva, onde muitas dessas áreas usam pouca tecnificação. Esse comportamento é motivado pela crescente busca por alimentos, estimulando maiores produções de alimentos, resultando na aplicação de técnicas de produção agrícola, facilitando a produção e incrementando à produtividade. Outro fator que possibilita o aumento de produção é o fato que a mandioca não possui grandes exigências em relação a fertilidade do solo, tolerância a presença de alumínio e à estresses hídricos (Silva *et al*., 2022). No entanto a infestação de patógenos, pragas e plantas daninhas, pode culminar em expressivas perdas de produtividade, necessitando na utilização de variedades melhoradas geneticamente e de tecnologias como irrigação, inseticidas e agrotóxicos (Emrich; Luppi; Saldanha, 2021).

A caracterização das variedades de mandioca pode ser feita por meio de caracteres agronômicos, morfológicos e análises moleculares do DNA. Em campo, os agricultores identificam as variedades com base nas características morfológicas das raízes, da parte aérea e pelo uso, seja para consumo in natura ou para produção de farinha. Um critério bastante utilizado por agricultores, é a classificação das variedades segundo a concentração de ácido cianídrico, dividindo-as em mandioca brava (destinada à fabricação de farinha) e mandioca mansa (consumida in natura, tanto por humanos quanto em alimentação de animais domésticos) (Azevedo *et al.*, 2023).

Observando os cenários atuais e futuros, representantes da cadeia produtiva têm solicitado soluções de pesquisa, especialmente no desenvolvimento de novas cultivares que apresentem características vantajosas, como alta produtividade de raízes e amido, estabilidade de comportamento, tolerância e resistência às principais doenças e pragas, além de uma arquitetura que facilite o plantio mecanizado e os cuidados culturais. Ainda em fase de testes, os programas de melhoramento genético das instituições públicas têm oferecido algumas soluções (Rangel; Ringenberg, 2021).

No Brasil, existem bancos que preservam o germoplasma da mandioca, como o localizado na Embrapa Mandioca e Fruticultura, em Cruz das Almas, Bahia, e o Instituto Agronômico em Campinas (IAC, São Paulo), que conservam cerca de quatro mil genótipos do gênero *Manihot* (Azevedo *et al*., 2023). A Embrapa, lançou duas variedades voltadas para o processamento industrial de amido e farinha: BRS CS01 em 2016 e BRS 420 em 2020. Ambas possuem características como ciclo precoce, permitindo a colheita no primeiro ciclo, mas também são opções viáveis caso a colheita ocorra no segundo ciclo. Uma característica relevante dessas variedades é a adequação ao cultivo em plantio direto, uma

prática conservacionista que vem sendo cada vez mais adotada no Centro-Sul do Brasil (Rangel; Ringenberg, 2021).

Em 2013, a EMBRAPA Mandioca e Fruticultura lançou o projeto RENIVA – Rede de Multiplicação e Transferência de Materiais Propagativos de Mandioca com Qualidade Genética e Fitossanitária, que teve como objetivo criar uma rede de multiplicação de manivas-sementes com garantia de qualidade genética e fitossanitária de manivas de mandioca entre agricultores familiares e grandes produtores (EMBRAPA, 2023). O programa consta em identificar as variedades mais utilizadas, produtivas e que tem melhor performasse contra pragas, realizar a indexação dessas plantas, e realizar a multiplicação do material. Proporcionando a oportunidade de criação de produtores especializados no processo, e beneficiando os produtores com tecnificação em boas práticas de produção e seleção do material adaptadas para a realidade do produtor. Esses que virão a proporcionar a propagação do material com qualidade e segurança genética em uma maior dimensão (Souza & Kalid, 2022).

Alguns produtores ainda tem deficiências na parte de capacitação técnica, o que pode vir a comprometer a produtividade, visto que por ser uma cultura com maior rusticidade, frequentemente é observado o negligenciamento de tratos culturais (Azevedo *et al*., 2023). Como por exemplo o manejo de plantas daninhas, que mediante a mato-competição, resulta em perda de potencial produtivo. Somando se a isso, também existe a falta de informação associada a infestação de vários ciclos de plantas daninhas durante o ciclo da cultura da mandioca, a qual em virtude da sua arquitetura em forma de copa, culmina em solo exposto a luz, na maior parte do desenvolvimento da cultura, além disso deve se destacar que essa cultura apresenta crescimento inicial lento, favorecendo o estabelecimento e desenvolvimento de plantas daninhas (JUNIOR *et al*., 2021).

3. CONTROLE DE PLANTAS DANINHAS NA CULTURA DA MANDIOCA

A definição de plantas daninhas, as quais podem ser descritas como qualquer planta que se desenvolve em um local não desejado, podendo vir a interfere no desenvolvimento da cultura de interesse agronômico, gerando prejuízos através da redução de produtividade e qualidade do produto final (Lacerda *et al*., 2021). Um manejo adequado de plantas daninhas inicia-se pela correta identificação das espécies, estádio de desenvolvimento, além da densidade e frequência (Razfar *et al*., 2022). No Brasil, existe a ocorrência de diferentes espécies que pode vir a prejudicar o desenvolvimento da mandioca, algumas espécies são vista com maior frequência e maior número em certas regiões, o que torna as principais plantas daninhas da cultura (Soares *et al*., 2019).

As principais plantas daninhas que ocorrem no Brasil e que ocasionam maiores problemas para a mandiocultura são as dicotiledôneas, como corda-de-viola (*Ipomoea purpura*), amendoim-bravo (*Euphorbia heterophylla*) e buva (*Conyza spp*.). Entretanto também são encontradas espécies monocotiledôneas de difícil controle, como a trapoeraba (*Commelina benghalensis*) e o capim-amargoso (*Digitaria insularis*). Quando cultivada a cultura em áreas que anteriormente eram pastagens, plantas do gênero *Urochloa spp.* se tornam problemáticas (Peressin *et al.*, 2022).

O controle de plantas daninhas engloba todas as práticas que visam reduzir as infestações. O grau de controle das plantas daninhas depende das características das espécies e da eficácia dos métodos de controle empregados. Nos cultivos de mandioca e de outras culturas, há diferentes opções para controlar as plantas daninhas. A busca por métodos

culturais, como selecionar genótipos vigorosos e competitivos, usar coberturas mortas ou vivas, plantio direto, plantio com espaçamento correto e mandioca em fileiras duplas e cultivos intercalares, tem aumentado. Além disso, o controle mecânico tem sido utilizado através de capinas manuais, cultivadores de tração animal ou mecanizados (Peressin *et al*., 2022).

Por outro lado, o controle químico tem sido mais enfatizado nos últimos anos, devido à crescente escassez de mão de obra no campo, o que torna o controle químico cada vez mais importante. (Peressin *et al*., 2022). Dentro dos métodos de controle, o controle químico proporciona uma maior eficácia de controle e redução de mão de obra e custos (Fontes; Oliveira; Morais, 2021). A utilização de herbicidas traz consigo benefícios significativos, tais como maiores rendimentos operacionais, eficácia no controle de plantas daninhas e menor custo se comparado ao controle mecânico (Santiago *et al.,* 2020).

Entre as opções de herbicidas disponíveis para o controle de plantas daninhas, o uso de pré-emergentes se destaca como uma alternativa viável e eficiente para o cultivo de mandioca. Esses herbicidas são aplicados antes da emergência tanto das plantas daninhas quanto da cultura, e uma de suas principais vantagens é a diminuição da competição entre as plantas daninhas e a mandioca durante o Período Crítico de Prevenção à Interferência (PCPI) (Sanchotene *et al*., 2017). Com efeitos residuais, esses herbicidas permitem que a cultura se desenvolva inicialmente sem a interferência das plantas daninhas, retardando o surgimento de novos fluxos de germinação após a emergência da mandioca. Isso facilita o manejo na fase de pós-emergência, reduzindo custos com operações na cadeia produtiva, especialmente considerando a limitada disponibilidade de herbicidas autorizados para aplicação na pós-emergência da cultura (Rizzardi; Rockenbach; Schneider, 2020; Guerra *et al*., 2020).

O controle em pós-emergência da cultura é convencionalmente feito por dois métodos: controle mecânico, através de capinas, ou então através do controle químico, porém seu uso é limitado a um pequeno grupo de herbicidas registrados para a cultura (Machado Filho, 2020). Onde exclusivamente está limitado a herbicidas inibidores da ACCase no controle de plantas daninhas de folha fina e apenas a carfentrazone para controle de plantas daninhas de folha larga, que é um inibidor da PROTOX (Agrofit, 2024).

Contudo, a seletividade dos herbicidas é um fator crucial, pois, se a cultura for sensível ao produto aplicado, podem ocorrer sintomas de fitotoxicidade, resultando em perda de produtividade (Soares, 2019). Nesse sentido, o entendimento sobre a seletividade de herbicidas na cultura da mandioca é essencial (Rajak *et al*., 2023). Assim, quando selecionados, os herbicidas podem promover aumentos na produtividade da mandioca, gerando também benefícios econômicos (Ekeleme *et al*., 2020).

A mandioca é considerada uma cultura com suporte fitossanitário limitado (Ibama, 2014), devido à quantidade reduzida de ingredientes ativos de herbicidas registrados, atualmente somando apenas dez, o que dificulta a implementação de programas eficientes para o manejo de plantas daninhas (Agrofit, 2024). Por isso, estudos sobre a eficácia e seletividade de herbicidas pré-emergentes para o controle de plantas daninhas na mandioca são fundamentais para alcançar melhores índices de produtividade.

4. HERBICIDAS REGISTRADOS E O SEU POSICIONAMENTO EM CAMPO E O SEUS IMPACTOS

De acordo com o Sistemas de Agrotóxicos Fitossanitários e a Agência de Defesa Agropecuária do Paraná, no Brasil, para a cultura da mandioca estão registrados apenas dez princípios ativos, dentre os registrados para aplicação em pré-emergência são ametrina, clomazona, flumioxazina, isoxaflutol, metribuzim e s-metolacloro (Adapar; Agrofit, 2024).

A ametrina é um herbicida do grupo S-triazina que atua principalmente inibindo o fotossistema I. Tem a capacidade de ser absorvido pelo solo em baixas quantidades (K_{oc} de 3,45; Kd de 5,69, meia-vida de 53,2 dias) e por ser altamente solúvel em água (200 mg L^{-1}), possui alta mobilidade no meio ambiente (com um potencial de lixiviação de 6,94) e é altamente persistente tanto na água quanto no solo (Grott *et al*., 2022).

O clomazone é um herbicida seletivo sistêmico que pertence ao grupo isoxazolidinona, que atua não inibição da síntese de carotenoides. É amplamente utilizado para combater ervas daninhas de folhas largas. Esse herbicida pode acabar no solo de várias formas e sua persistência pode variar de aproximadamente 9 a 195 dias (Rong *et al*., 2021). Nos últimos, o clomazone ganhou uma nova tecnologia, que é a liberação gradual dos ingredientes ativos por meio de formulações em cápsulas. Essas formulações apresentam vantagens significativas em relação aos concentrados emulsionáveis (EC) convencionais. A parede das cápsulas protege o ingrediente ativo dissolvido em uma pequena quantidade de solvente orgânico, evitando sua volatilização e outros processos indesejados. A taxa de liberação pode ser controlada ao variar o tamanho das partículas, a espessura da parede e a porosidade da mesma (Stevanović, 2021).

O flumioxazin é um produto inibidor da PROTOX, seletivo e não sistêmico, sendo utilizado em pré e pós-emergência para controle de plantas daninhas em culturas como algodão, batata, café, cana-de-açúcar, feijão, mandioca, milho e soja. O flumioxazin é um herbicida não-iônico, com baixa solubilidade em água (1,79 mg L^{-1} a 25 ºC) e pressão de vapor (2,41 x 10^{-6} mm Hg a 22 ºC), o que indica um baixo potencial de volatilização. No solo, sua meia-vida é de 21,9 dias e sua degradação ocorre por hidrólise e atividade microbiana. Essas características conferem baixo risco de lixiviação e mobilidade no solo. Além disso, devido ao seu alto Kow (2,25 a 20°C), o flumioxazin pode ter alta adsorção em materiais altamente lipofílicos, como os resíduos de culturas (Da Silva, 2020).

O isoxafultole tem a capacidade de inibir a enzima 4-hidroxifenilpiruvato dioxigenase (HPPD), o que resulta em um sintoma característico nas plantas, o branqueamento das folhas. Além disso, ele possui alta mobilidade no solo (Carbonari *et al.,* 2020). E solubilidade em água de 6,2 µg/mL (20 °C) e sua meia-vida varia de 3,2 horas a 11 dias, dependendo da temperatura e pH (Lázár, 2023).

O Metribuzin, também conhecido como 4-amino-6-terc-butil-3-metilsulfanil-1,2,4-triazin-5-ona, é amplamente utilizado como herbicida para controlar plantas daninhas de folhas largas e gramíneas. Sua ação está relacionada à interferência no transporte de elétrons do fotossistema II nos cloroplastos das plantas. Estudos atuais indicam que o Metribuzin apresenta baixa sorção no solo devido ao coeficiente octanol-água Kow (1,70), o que sugere uma alta mobilidade. Por isso, há um alto risco de lixiviação (Cara, *et al*., 2021).

O S-metolacloro pode ser utilizado tanto em pré-emergência como incorporado antes do plantio para controlar várias plantas de folhas largas e estreitas. Este herbicida atua

inibindo a síntese de ácidos graxos de cadeia longa, o que limita o crescimento de raízes e brotos de mudas. Pertencente à classe química das acetamidas, o s-metolacloro é uma molécula não ionizável, com meia-vida no solo que varia de 6 a 100 dias, dependendo das condições ambientais. Suas características físico-químicas incluem solubilidade em água de 480 mg L^{-1}, pressão de vapor de 3,7 mPa a 20 ºC, Koc de 200 L kg^{-1} e Kow de 3,05 a 25 ºC. Sua degradação no solo está diretamente ligada à atividade microbiológica (Do Carmo, 2023).

5. IMPACTO DOS HERBICIDAS NA FISIOLOGIA DA MANDIOCA, PRODUÇÃO E QUANTIDADE DE AMIDO

A utilização de herbicidas no sistema de cultivo da mandioca vem aumentando a cada dia, entretanto se tem pouco conhecimento sobre os efeitos que os herbicidas podem causar no processo fisiológico da cultura (Santos *et al*., 2022). Estudos demonstram que alguns herbicidas se tornam tóxicos ao ecossistema por uso inadequado, podendo causar danos tanto a saúde humana quanto das plantas (Enyong, 2021). Como Onasanya *et al*., (2021) relata em seu estudo que o uso de herbicidas em áreas sem revolvimento do solo diminuiu o rendimento da cultura, quando se comparado a área sem utilização de herbicidas. E Da Silva *et al*., (2021) relata que o uso de saflufenacil quando usado na dessecação de babata reduz o ter de amido.

Costa *et al*., (2020) ao estudar estratégias de controle químico em mandioca, obteve resultados onde a aplicação de clomazone e s-metolacloro isolados e em mistura de clomazone + s-metolacloro na pré-emergência resultou em redução de produtividade e decréscimo na produção de amido em comparação com a testemunha. Entretanto Santiago *et al*., (2020) em seu estudo não observou diferença significativa entre os tratamentos e a testemunha sem aplicação de herbicidas ao avaliar teor de amido na cultura da mandioca.

Diante dos dados expostos anteriormente, é possível ressaltar a importância da cultura para a sociedade e a necessidade de pesquisas para uso de herbicidas na cultura, devido a linha de pesquisa de plantas daninhas na cultura da mandioca, sendo essa extremamente carente de investimentos e pesquisas nesse setor da fitotecnia, sendo limitados os trabalhos publicados na literatura brasileira e internacional com essa temática. E visto que quando utilizado o controle químico de plantas daninhas corretamente, podem se tornar uma alternativa eficaz e viável economicamente para produtores de mandioca, contribuindo com ganhos em produtividade e tempo, onde se torna indispensável a buscar por trabalhos nessa linha de pesquisa.

REFERÊNCIAS

[1] ADAPAR - Agência de Defesa Agropecuária do Paraná (2023) Agrotóxicos do Paraná, 2023. Available at: Available at: http://www.adapar.pr.gov.br/modules/conteudo/conteudo.php?conteudo=387 Accessed on: June 24th, 2024. »http://www.adapar.pr.gov.br/modules/conteudo/conteudo.php?conteudo=387

[2] AGROFIT - Sistemas de Agrotóxicos Fitossanitários (2023) Consulta de produtos formulados, 2023. Available at: Available at: http: //agrofit.agricultura.gov.br/agrofit_cons/principal_agrofit_cons Accessed on: June 24th, 2024. » http://agrofit.agricultura.gov.br/agrofit_cons/principal_agrofit_cons

[3] AZEVEDO, J. M. A. D. *et al*. Indicação Geográfica da Farinha de Cruzeiro do Sul: prospecção da diversidade de mandioca com uso de marcadores moleculares. **Cadernos de Prospecção**, v. 16, n. 4, p. 1375–1390, 26 maio 2023.

[4] BAHAR N, LO M, SANJAYA M, *et al*. Meeting the foodsecurity challenge for nine billion people in 2050:what impact on forests. **Global Environm Change** 2020;

[5] CARA, I. G., FILIP, M., BULGARIU, L., RAUS, L., TOPA, D., & JITAREANU, G. (2021). Environmental remediation of metribuzin herbicide by mesoporous carbon—rich from wheat straw. ***Applied Sciences***, *11*(11), 4935.

[6] CARBONARI, C. A. *et al*. Dinâmica e eficácia dos herbicidas sulfentrazone, flumioxazina e isoxaflutol aplicados em resíduos de colheita de eucalipto. **Novas Florestas** 51 , 723–737 (2020). https://doi.org/10.1007/s11056-019-09756-3

[7] CONAB, Companhia Nacional de Abastecimento. Histórico mensal mandioca. Gerência de Fibras e Alimentos Básicos – GEFAB. Brasília-DF. 2024.

[8] COSTA, N. V. D., GIBBERT, A. M., FERREIRA, S. D., CANAVESSI, H., & SALVALAGGIO, A. C. (2020). Strategies of chemical management for weed control in cassava. ***Revista Ceres***, *67*, 240-246.

[9] DA SILVA, P., BLUMER, S., COETI, JPZ, BARBOSA, GC, INÁCIO, EM, & MONQUERO, PA (2021). Dessecação da casca da batata com herbicidas de contato e qualidade final dos tubérculos. ***Comunicata Scientiae*** , *12* , e3498-e3498.

[10] DA SILVA, PV, TRONQUINI, SM, BARBOSA, GC, DE CARVALHO DIAS, R., VEIGA, JPS, & INÁCIO, EM (2020). Eficácia de flumioxazin em Euphorbia heterophylla L. aplicada sobre diferentes tipos e detalhes de resíduos culturais e simulações de chuva. **Revista de Ciências Agrárias**, 43 (3), 324-332.

[11] DO CARMO, M. S., DA SILVEIRA, I. N., ALMEIDA, D. R., JARDIM, R. S. M., & DAMIN, V. Effectiveness of the S-metolachlor herbicide in the control of Urochloa decumbens in Brazilian Savanna soils1. 2023.

[12] DOS SANTOS, JCC, COSTA, RN, SILVA, DMR, DA ROCHA, DF, DOS SANTOS SILVA, LK, DA SILVA, RM, ... & SILVA, JV (2022). Alterações fotoquímicas, anatômicas e de crescimento em cultivares de mandioca após aplicação de herbicidas pós-emergentes. **Agricultura** , *12* (7), 950.

[13] EKELEME, F. et al. Screening preemergence herbicides for weed control in cassava. **Weed Technology**, v. 34, n. 5, p. 735–747, out. 2020.

[14] EMBRAPA, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. RENIVA: Rede de multiplicação e distribuição de manivas - semente de mandioca com qualidade genética e fitossanitária. **Embrapa Mandioca e Fruticultura**. Curz das Almas - BA. 2023.

[15] EMRICH, E. B.; LUPPI, M. J. R.; SALDANHA, C. B. **Fitotecnia: algodão e mandioca**. [s.l.] Editora e Distribuidora Educacional S.A., 2021.

[16] ENYONG, JFK, & UGBE, ORALA. Avaliação da Fitotoxicidade de Herbicidas Selecionados em Algumas Cultivares de Mandioca (Manihot esculenta Crantz).2021.

[17] FONTES, J. R.; OLIVEIRA, I.; MORAIS, R. SELETIVIDADE E EFICÁCIA DE HERBICIDAS PARA O CONTROLE DE PLANTAS DANINHAS NA MANDIOCA. **Agrotrópica (Itabuna)**, v. 33, n. 1, p. 69–78, 30 abr. 2021.

[18] GROTT, S. C. *et al*. Influence of temperature on biomarker responses of bullfrog tadpoles (Lithobates catesbeianus) exposed to the herbicide ametryn. **Chemosphere**, v. 308, p. 136327, 1 dez. 2022.

[19] GROXKO, M. PEREIRA, J. R. Prognóstico agropecuário. **Departamento de economia rural – DERAL**. ISSN 2764-1887. Vol 13 n.34 – 2022.

[20] GUERRA, N., HARAMOTO, R., SCHMITT, J. D., COSTA, G., SCHIESSEL, J. J., & NETO, O. A. Weed control and selectivity herbicides pre emerging in garlic cultivars**.** ***Planta daninha***, *38*. 2020.

[21] IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Censo Agropecuário – Produção de Mandioca. 2024.

[22] JUNIOR, V. B. P. et al. LEVANTAMENTO FITOSSOCIOLOGICO DE PLANTAS DANINHAS APÓS A APLICAÇÃO DE DIFERENTES MISTURAS DE TANQUE COM FLUAZIFOPE EM ÁREA DE CULTIVO DE MANDIOCA. Singular. Meio Ambiente e Agrárias, v. 1, n. 2, p. 34–39, 21 maio 2021

[23] LACERDA, Marlon Lopes et al. Fitossociologia de plantas daninhas em cultivo de feijão-caupi no semiárido mineiro. **Nativa**, v. 9, n. 5, p. 528-535, 2021.

[24] LÁZÁR, Diána et al. Application of a fluorescence-based instrument prototype for chlorophyll measurements and its utility in an herbicide algal ecotoxicity assay. **Water**, v. 15, n. 10, p. 1866, 2023.

[25] MACHADO FILHO, Gilberto Coutinho et al. Evaluation of intoxication caused by post-emerging herbicides in cassava culture in two times of application. **Acta Iguazu**, v. 9, n. 3, p. 28-36, 2020.

[26] ONASANYA, Olabisi Omolara et al. On-farm assessment of cassava root yield response to tillage, plant density, weed control and fertilizer application in southwestern Nigeria. **Field Crops Research**, v. 262, p. 108038, 2021.

[27] PERESSIN, V. A. *et al*. **Manejo Integrado De Plantas Daninhas Em Mandioca: Um Desafio Ambientalmente Correto**. Campinas, SP: Iac, 2022.

[28] RAJAK, B. K. *et al*. Sequência e semelhanças estruturais da proteína ACCase de Phalaris minor e trigo: uma visão para explicar a seletividade do herbicida. **Fronteiras na Ciência Vegetal**, v. 1056474, 2023.

[29] RANGEL, M. A. S.; RINGENBERG, R. Comportamento de genótipos de mandioca quanto às características produtivas em diferentes épocas de colheita em Paranavaí, PR. 2021.

[30] RAZFAR, N., TRUE, J., BASSIOUNY, R., VENKATESH, V., & KASHEF, R. (2022)..**Journal of Agriculture and Food Research**, Volume 8, 2022, 100308, ISSN 2666-1543, https://doi.org/10.1016/j.jafr.2022.100308. Disponível em: (https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2666154322000412).

[31] RIZZARDI, Mauro A.; ROCKENBACH, Ana P.; SCHNEIDER, Theodoro. Residual herbicides increase the period prior to interference in soybean cultivars. **Planta Daninha**, v. 38, 2020.

[32] RONG, L., WU, X., XU, J., DONG, F., LIU, X., XU, H., ... & ZHENG, Y. (2021). Clomazone improves the interactions between soil microbes and affects C and N cycling functions. ***Science of the Total Environment***, *770*, 144730.

[33] SANCHOTENE D. M.; DORNELLES S. H. B.; BOLZAN T. M.; VOSS H. M. G.; ESCOBAR O. S.; LEON C. B.; SHIMÓIA E. P. Desempenho de diferentes herbicidas pré-emergentes para controle de *Euphorbia heterophylla* na cultura da soja. ***Perspectiva,*** Erechim, 41:07-15. 2017.

[34] SANTIAGO, A. D., PROCOPIO, S. D. O., BRAZ, G. B. P., & FERREIRA, C. J. B. The use of pre-emergence herbicides in cassava decreases the need of manual weeding. ***Revista Ceres***, *67*, 223-230. 2020.

[35] SANTIAGO, A. D., PROCOPIO, S. D. O., BRAZ, G. B. P., & FERREIRA, C. J. B. The use of pre-emergence herbicides in cassava decreases the need of manual weeding. ***Revista Ceres***, *67*, 223-230. 2020

[36] SILVA, R. B. *et al*. Análises fisiológicas e de crescimento e produtividade da mandioca sob níveis de irrigação. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, v. 21, n. 1, p. 16–26, 4 mar. 2022

[37] SOARES, M. R. S. *et al*. Períodos de interferência de plantas infestantes na cultura da mandioca, submetida ou não à adubação NPK, em Vitória da Conquista-Ba. **Revista de Ciências Agrárias**, p. 237-247 Páginas, 6 fev. 2019.

[38] SOARES, M. R. S. et al. Períodos de interferência de plantas infestantes na cultura da mandioca, submetida ou não à adubação NPK, em Vitória da Conquista-Ba. **Revista de Ciências Agrárias**, p. 237-247 Páginas, 6 fev. 2019

[39] SOUZA, Emanuel; KALID, Ricardo. Transferência de tecnologia no cultivo de mandioca–o caso do Projeto Reniva. **Interações (Campo Grande)**, v. 23, n. 2, p. 423-439, 2022.

[40] STEVANOVIĆ, M., BRKIĆ, D., TOMIĆ, T., MIHAJLOVIĆ, V., ĐORĐEVIĆ, T., & GAŠIĆ, S. (2021). Effects of the technical ingredient clomazone and its two formulated products on aquatic macrophytes. ***Environmental Pollution***, *277*, 116753.

[41] TOMLINS, K., PARMAR, A., OMOHIMI, CI, SANNI, LO, ADEGOKE, AF, ADEBOWALE, ARA, & BENNETT, B. (2021). Melhorando a vida útil de raízes frescas de mandioca: uma avaliação de campo de sacos de armazenamento simples. **Processos** , 9 (4), 577.

Capítulo 8

Nanotecnologia na agricultura: como o cobre está revolucionando o controle de pragas e doenças fúngicas

Paulo Cesar Rodrigues

Resumo: O artigo aborda o uso do cobre e de suas nanopartículas (CuNPs) na agricultura como agentes fungicidas, destacando sua eficácia contra micotoxinas e patógenos resistentes. O cobre, amplamente utilizado desde o século XVIII, possui propriedades antimicrobianas que o tornam essencial no controle de fungos, na preservação de alimentos e no manejo sanitário. A nanotecnologia aplicada ao cobre oferece soluções mais eficientes e sustentáveis, como nanofungicidas que minimizam os impactos ambientais e maximizam a proteção de culturas. Apesar de suas vantagens, os efeitos ecotoxicológicos e os desafios relacionados ao acúmulo de cobre no solo e sua toxicidade requerem mais estudos. A pesquisa futura deve focar na formulação específica de nanopesticidas, avaliação de riscos e diretrizes regulatórias para garantir um uso seguro e sustentável dessa tecnologia.

Palavras-chave: nanotecnologia agrícola, micotoxinas, fungicidas à base de cobre.

1. INTRODUÇÃO

À medida que a demanda global por alimentos seguros aumenta devido às mudanças climáticas, fica evidente que a segurança alimentar enfrenta sérias ameaças. A contaminação fúngica, com a subsequente produção de micotoxinas, agrava ainda mais essa situação, resultando em micotoxicoses que prejudicam tanto a saúde humana quanto a animal[1]. Os fungos, indesejáveis nos alimentos, têm a capacidade de degradá-los, e as micotoxinas estão associadas a grandes perdas econômicas. Esses organismos estão sempre presentes em culturas e grãos, frequentemente acompanhados por insetos, sendo a principal causa de deterioração de produtos armazenados, já que os insetos tendem a dispersar esporos fúngicos. Os métodos convencionais de proteção agrícola contra a contaminação fúngica generalizada têm se mostrado ineficazes, com alta toxicidade e o surgimento de resistência aos fungicidas. Portanto, novos desenvolvimentos tecnológicos em técnicas agrícolas têm explorado diferentes fungicidas para controlar doenças fúngicas em culturas, e a busca por novas formulações continua sendo uma necessidade urgente para enfrentar o aumento gradual da resistência e o surgimento de novas cepas de fungos[2,3].

A aplicação moderna do cobre para o controle de fungos na agricultura e na preservação de alimentos começou em 1761, quando sementes foram tratadas com uma solução fraca de sulfato de cobre, o que se mostrou eficaz na inibição de fungos que poderiam estar presentes nas sementes. Na década de 1880, uma mistura de sulfato de cobre, cal e água, conhecida como mistura de *Bordeaux*, foi utilizada para pulverizar uvas nos Estados Unidos, a fim de combater o mofo. Na França, a mistura de *Borgonha*, outra formulação de sulfato de cobre, também foi empregada com o mesmo propósito. Desde essa época, os compostos de cobre têm sido um dos principais agentes antimicrobianos inorgânicos usados na agricultura, atuando como fungicidas, pesticidas, algicidas e herbicidas. Na pecuária, o cobre é aplicado como desinfetante, auxiliando no manejo sanitário dos animais[3,4].

O cobre, representado pelo símbolo Cu, é um micronutriente metálico de extrema importância para as plantas, sendo crucial para a função adequada de proteínas através da química de coordenação. Este elemento é amplamente utilizado em diversas práticas agrícolas, em particular na agricultura orgânica. O cobre também possui uma longa história de uso como biocida, eficaz para desinfetar uma variedade de superfícies, líquidos e até mesmo tecidos humanos[5].

O cobre é um cofator essencial para o funcionamento de várias enzimas nas plantas, incluindo a superóxido dismutase cobre/zinco (Cu/ZnSOD), a oxidase citocromo-C, a lisil oxidase, a tirosinase e a dopamina hidroxilase. Além disso, ele está envolvido na ativação de neuropeptídeos, na síntese de tecido conjuntivo, de lignina e neurotransmissores, bem como na plastocianina e nos receptores de etileno, que são importantes para o metabolismo oxidativo das plantas. No interior das células vegetais, o cobre é necessário em pelo menos seis compartimentos distintos: o citosol, o retículo endoplasmático, a membrana interna mitocondrial, o estroma do cloroplasto, o lúmen dos tilacoides e o apoplasto[4].

O principal motivo para a utilização do cobre em práticas agrícolas é devido às suas capacidades antimicrobianas intrínsecas, que foram reconhecidas e aplicadas mesmo antes do advento dos antibióticos. O cobre é eficaz no controle de infecções causadas por bactérias e fungos, sendo frequentemente empregado na forma de sulfato de cobre ou hidróxido de cobre, que são compostos iônicos[6]. Os íons Cu^{2+} e Cu^{+} têm demonstrado causar danos ao meio ambiente, especialmente aos organismos do solo, como a fauna e flora, bem como a outros microrganismos benéficos, como certas espécies de fungos (*Beauveria bassiana*) que são empregadas no controle biológico de pragas e insetos[7]. Esses danos são atribuídos ao acúmulo de cobre no solo, decorrente da aplicação repetida de pesticidas à base de cobre, que interferem com a estrutura e função de biomoléculas vitais, como o ácido desoxirribonucleico (DNA), lipídios e proteínas[8,9].

Além disso, a presença de cobre pode promover a produção de espécies reativas de oxigênio, como resultado das reações de *Haber-Weiss* e *Fenton*, o que contribui para a fitotoxicidade, ou seja, a toxicidade para as plantas. Portanto, o uso de cobre como pesticida pode ter um impacto negativo sobre a saúde do solo e a sustentabilidade das práticas agrícolas[10,11].

Os íons de cobre apresentam uma tendência em condições de campo a formar complexos indesejáveis e possuem alta solubilidade em água, o que pode levar a uma exposição crônica ao cobre, um fenômeno que é difícil de evitar. Por essa razão, as diretrizes de ingestão dietética recomendada de cobre para adolescentes e adultos é de 900 microgramas por dia. A absorção do cobre ocorre principalmente no intestino delgado superior, sendo que cerca de um terço é absorvido pelo esqueleto e músculos[10,11]. Nos Estados Unidos, a ingestão média diária de cobre proveniente dos alimentos é de aproximadamente 1,0 a 1,6 miligramas por dia para homens e mulheres adultos. Os níveis normais de cobre em meios de cultivo de plantas variam entre 0,05 e 0,5 partes por milhão (ppm), com a maioria dos tecidos vegetais apresentando um intervalo entre 3 e 10 ppm. Já no solo, os níveis normais de cobre situam-se entre 2 e 50 ppm[12–14].

Na agricultura orgânica, o uso de fungicidas sintéticos é rigorosamente proibido, o que aumenta a necessidade por alternativas. Neste contexto, esta revisão tem como objetivos: (i) apresentar o uso de cobre e nanopartículas de cobre como nanofungicidas na agricultura; (ii) explorar abordagens de nanoagricultura verde através de nanocompostos à base de cobre; (iii) proporcionar compreensão sobre o mecanismo de ação do cobre; e (iv) discutir a ecotoxicologia e a segurança dos nanofungicidas de cobre.

2. NANOAGRICULTURA

A nanotecnologia na agricultura de precisão traz diversos benefícios em comparação às estratégias tradicionais de cultivo. Por meio de nanocarreadores, ela permite a entrega eficiente de fertilizantes, micronutrientes, controle de pragas, fungicidas, herbicidas e biossensores. Em contraste, os métodos convencionais, como a aplicação indiscriminada de pesticidas químicos, têm efeitos adversos sobre animais e causam danos ao meio ambiente. Essa abordagem também aumenta a resistência de patógenos e pragas, reduzindo a biodiversidade do solo ao eliminar microrganismos benéficos. Além disso, a biomagnificação de pesticidas contribui para o declínio dos polinizadores e a destruição do habitat natural da agricultura[15].

Existe uma crescente demanda global por alimentos, impulsionada pela necessidade de alternativas sustentáveis para aumentar a eficiência agrícola sem expandir as áreas cultivadas, minimizando o impacto ambiental. A nanotecnologia oferece soluções promissoras, como formulações de pesticidas e fungicidas não persistentes, utilizando nanomateriais. Isso inclui o controle de pragas de insetos, o encapsulamento de fertilizantes para liberar nutrientes de forma gradual e controlada, entre outras aplicações. O uso de nanomateriais à base de cobre, como nanopartículas de cobre (CuNPs) e óxido de cobre (CuONPs), apresenta-se como uma solução viável para diversos desafios agrícolas, oferecendo excelente atividade contra uma ampla gama de microrganismos, incluindo bactérias, fungos e vírus, inclusive os multirresistentes[16,17].

As CuNPs e as CuONPs se destacam em relação a outras nanopartículas metálicas, como as de prata, principalmente por terem propriedades antimicrobianas e serem mais acessíveis em termos de custo e disponibilidade, o que as torna opções econômicas. Atualmente, essas nanopartículas de cobre e suas ligas são usadas em uma grande variedade de produtos e formulações antimicrobianas, abrangendo desde têxteis sintéticos até o processamento e embalagem de alimentos, passando por dispositivos biomédicos e cirúrgicos, e chegando à purificação de água[16]. Estudos realizados comprovam que as CuNPs são eficazes contra uma gama de patógenos vegetais, incluindo bactérias Gram-positivas e Gram-negativas, além de serem capazes de inibir o crescimento de leveduras e fungos. A eficácia dessas nanopartículas é influenciada pelo tamanho das partículas.

A "Nanotecnologia Verde" é uma tendência emergente na ciência dos nanomateriais, focando no uso de compostos não tóxicos para a criação de nanomateriais que impactem minimamente o ambiente. Essa abordagem visa enfrentar de maneira sustentável os desafios no controle de doenças em plantas, bem como na saúde humana e animal[15]. Esta tecnologia, está abrindo caminhos para a exploração de métodos de síntese ecológicos que melhoram as propriedades do cobre de forma econômica e eficaz, mesmo em baixas concentrações, ao mesmo tempo em que diminuem a toxicidade. Além disso, ela oferece uma estrutura versátil para a combinação com outras biomoléculas antimicrobianas naturais das plantas, como compostos anti-herbivoria, lectinas, fitoanticipinas, fitoalexinas e outros metabólitos secundários defensivos. Portanto, as CuNPs e CuONPs verdes têm o potencial de se tornar uma solução para nanofungicidas e promotores de crescimento na agricultura, aliando eficácia e sustentabilidade[18,19].

O desenvolvimento de nanomateriais verdes à base de cobre se concentra em duas abordagens principais: a primeira utiliza extratos e moléculas antimicrobianas de plantas como agentes redutores para criar CuNPs e CuONPs, que diretamente antagonizam fungos patogênicos; a segunda envolve a modificação da superfície dessas nanopartículas com componentes de resistência natural das plantas, funcionando como estimuladores de defesa para inibir a produção de micotoxinas após a colonização fúngica[20,21].

3. NANO-Cu: ECOTOXICIDADE E MICOTOXINAS

A nanotecnologia está revolucionando diversas áreas, incluindo a agricultura, onde oferece soluções para a produção de alimentos, segurança e proteção contra fungos e micotoxinas. Os nanomateriais, com suas propriedades únicas, são utilizados em nanofertilizantes e nanopesticidas, especialmente aqueles à base de Ag, Cu, Fe e Zn, resultando em maior produtividade e saúde das culturas. No entanto, a falta de regulamentação baseada em ciência dificulta o uso seguro desses materiais[22–25].

Zhang et al.[26] destacam a necessidade de desenvolver métodos para identificar micotoxinas e suas formas mascaradas com maior eficiência e especificidade. Métodos de detecção padrão com nanomateriais permitem detectar múltiplas micotoxinas em um único teste, o que é essencial devido à dificuldade de detectar micotoxinas mascaradas com métodos convencionais.

Apesar de muitos nanomateriais de cobre serem promovidos como antifúngicos, é urgente desenvolver nanocompósitos multifuncionais que possam detectar e desintoxicar micotoxinas com baixa ecotoxicidade. Song et al. usaram nanopartículas de cobre (CuNPs) templadas por dsDNA para detectar ocratoxina A (OTA) com alta sensibilidade, alcançando um limite de detecção (LOD) de 5 partes por bilhão (ppb). Similarmente, Chen et al. desenvolveram um ensaio usando nanopartículas de monossulfeto de cobre (CuSNPs) conjugadas a anticorpos anti-OTA para detectar OTA em café, milho e soja, com um LOD de 0,001 ppb e tempo de detecção de 170 minutos. Esses avanços demonstram o potencial dos CuNPs na detecção de micotoxinas para garantir a segurança alimentar e controle de qualidade[27,28].

Na agricultura, a maioria dos nanomateriais de cobre é usada como agentes antimicrobianos, proporcionando vantagens sobre seus equivalentes em massa. Esses nanomateriais liberam íons Cu^{2+} e Cu^{+}, além de serem facilmente funcionalizáveis com compostos bioativos, o que melhora o armazenamento de alimentos, aumenta a vida útil e protege contra contaminação por fungos e micotoxinas, melhorando a segurança alimentar[29,30].

No entanto, muitos fungicidas à base de cobre no mercado carecem de informações cruciais, como composição química, especiação mineral, dados toxicológicos e reatividade de superfície, essenciais para avaliar os riscos ecotoxicológicos. Tegenaw et al.[31] analisaram fungicidas à base de Cu, avaliando especiação mineral e tamanho de partícula para entender suas implicações ambientais. Eles descobriram que os produtos A e B continham 360 e 310 g de Cu por kg, respectivamente, com minerais como cornetite, malaquita, spertiniite e tenorite. O produto A era dominado por spertiniite e o produto B por tenorite, ambos com tamanhos de partícula menores que 450 nm. As nanopartículas de Cu nos produtos A e B tinham tamanhos de 90 nm e 25 nm, respectivamente, sendo o produto B mais tóxico devido ao seu menor tamanho[32]. Ambos os produtos foram afetados por parâmetros ambientais como eletrólitos, força iônica e pH. A estabilidade eletrostática dos nanomateriais é crucial para prever seu destino e mobilidade no ambiente. O CuO apresentou mais riscos genotóxicos que outras formas de Cu. O estudo conclui que a especiação química das formulações de nanofungicidas, juntamente com fatores como tipo de síntese, tamanho de partícula, estabilidade e reatividade, deve ser considerada para avaliar a ecotoxicologia dos nanofungicidas[33].

Outro estudo, realizado por Maqsood et al.[34], avaliou a atividade antifúngica de nanopartículas de Cu contra *A. niger*, mostrando um efeito inibitório máximo com uma concentração de 1,5% de CuNP. Kolackova et al. analisaram a aplicação foliar de diferentes fungicidas à base de Cu (CuO, CuSO4, Cu-EDTA, CuO-nanopó) utilizando polímeros superabsorventes. Eles avaliaram os efeitos sobre características nutricionais (porcentagem de cinzas, proteínas brutas, gorduras brutas, fibras brutas, fibra detergente ácido, fibra detergente neutro livre de cinzas, lignina, celulose e amido) e contra a contaminação por micotoxinas (DON e toxina T-2) em grãos de trigo. O tratamento com Cu-nano resultou no maior teor nutricional, enquanto todos os tratamentos foram eficazes no controle da produção de DON e toxina T-2[24,33].

É essencial restringir micotoxinas na cadeia alimentar sem prejudicar a qualidade nutricional dos alimentos e sem impactar negativamente o ambiente, incluindo micro-organismos no solo e na água. O Centro da Universidade da Califórnia sobre as Implicações Ambientais da Nanotecnologia conduziu um estudo empírico sistemático sobre os riscos potenciais das nanopartículas de Cu usadas na agricultura como fungicidas[35]. O estudo focou em seis materiais à base de Cu: nano-Cu (nCu), micro-Cu (μCu), nano-CuO (nCuO), micro-CuO (μCuO), CuPro ($nCu(OH)_2$-a) e Kocide 3000 ($nCu(OH)_2$-b). Os resultados mostraram que mais de 95% do Cu liberado se acumula em níveis potencialmente tóxicos (> 0,5 ppm) no ambiente, entrando no solo e nos sedimentos aquáticos. O Cu^{2+}, mesmo em baixas concentrações, demonstrou alta toxicidade, especialmente para organismos aquáticos como dáfnias de água doce e anfípodes marinhos, que são mais suscetíveis à toxicidade de CuNP do que plantas terrestres[36].

Sidhu et al.[37] criaram uma nanoformulação aquosa de sulfeto de cobre (NCuS1–3) com diferentes agentes de revestimento para combater fungos como *Alternaria alternata*, *Drechslera oryzae* e *Curvularia lunata*, e avaliaram seu impacto na qualidade das sementes de arroz (*Oryza sativa*). Os tipos de NCuS incluíram: NCuS: CuS puro (sem estabilizante), NCuS1: estabilizado com polivinilpirrolidona (PVP), NCuS2: estabilizado com ácido 4-aminobutírico (GABA), NCuS3: estabilizado com citrato trissódico. Os tamanhos médios das nanopartículas eram de 14, 12, 10 e 8 nm, respectivamente. Os resultados mostraram que o NCuS3, a 7 ppm por 2 horas, reduziu significativamente a podridão das sementes e o crestamento das plântulas, promovendo uma germinação mais rápida e um crescimento mais saudável das plântulas[38].

Além disso, a nanotecnologia verde oferece uma solução promissora para superar os problemas associados aos fungicidas convencionais de cobre. Isso envolve a síntese verde de nanopartículas de sulfato de cobre, cobre e óxido de cobre (CuSO4-NPs, CuNPs e CuONPs) usando componentes bioativos de plantas. Essas nanopartículas teriam alta eficácia em baixas concentrações, estabilidade, baixo custo, biocompatibilidade e baixa ecotoxicidade para culturas, animais, humanos e o meio ambiente. Os nanofungicidas de cobre poderiam estimular o crescimento das plantas enquanto protegem contra micotoxinas[6,15].

El-Abeid *et al*.[39] demonstraram que nanolâminas de óxido de grafeno decoradas com nanopartículas de óxido de cobre são eficazes contra *F. oxysporum* a 1 ppm, sem causar fitotoxicidade. Em comparação, o fungicida convencional Kocide 2000 foi eficaz apenas a 2500 ppm. Shah e Mraz descobriram que a exposição de trutas arco-íris juvenis a 20 ppb de CuNPs ou 100 ppb de $CuSO_4$ causou lesões em vários órgãos (brânquias, intestino, fígado, rim, cérebro e músculo). Uma revisão por Malhotra *et al.*[15] resumiu a toxicidade de Cu metálico, CuNPs e CuONPs em peixes, mostrando que os dados ainda são limitados e contraditórios. Alguns estudos indicam que CuNPs são menos tóxicos que $CuSO_4$, enquanto outros mostram o oposto. Fadl *et al*.[6] relataram que CuONPs e nanopartículas de silicato de alumínio de sódio hidratado a 500 ppm adsorveram eficazmente OTA em tilápias do Nilo alimentadas com dieta contaminada. Esses resultados ajudam a entender os riscos ambientais e a mitigar a toxicidade das nanoformulações de Cu, ao mesmo tempo em que promovem o uso benéfico dos nanofungicidas à base de Cu.

4. NANO-Cu: FUNGICIDA

A biossíntese de pó de CuNPs utilizando extrato de folha de *Celastrus paniculatus* e as propriedades antifúngicas contra *F. oxysporum* foram exploradas[40]. Os resultados revelaram que CuNPs mostraram uma inibição do crescimento micelial dependente da dose, com uma inibição máxima de 76,29 ± 1,52 a 0,24%, enquanto CuSO4 teve 20,74 ± 1, e o extrato de planta não foi eficaz. Isso foi conseguido pelos flavonoides e outros componentes fenólicos no extrato de folha de *C. paniculatus* encapsulando os CuNPs, resultando em um efeito antifúngico sinérgico.

Lopez-Lima et al.[41] demonstraram o papel bifuncional benéfico dos CuNPs como nanofungicida eficaz e promotor de crescimento de plantas contra o importante patógeno do solo *F. oxysporum f. sp. lycopersici* (FOL), que causa a doença da murcha vascular. Os CuNPs foram produzidos usando citrato de sódio trihidratado e ácido ascórbico, e a atividade antifúngica de CuNPs e do fungicida comercial de hidróxido de cobre (Cupravit Hidro) contra o crescimento de FOL foi de 67,3% e 15,6%, respectivamente, a 0,5 mg/mL. Além disso, o tratamento com CuNPs diminuiu os sintomas de murcha de fusário e aumentou o crescimento das plantas de tomate devido aos níveis aumentados de conteúdo de clorofila (de 19,3% para 28,6%) quando comparado ao Cupravit Hidro. Os autores deduziram que os CuNPs forneceram eficazmente íons de Cu para a planta, enquanto o Cupravit Hidro facilitou a absorção descontrolada de íons de Cu, o que prejudicou o desenvolvimento saudável das plantas. Portanto, o tratamento com CuNP forneceu efetivamente uma abordagem bifuncional para controlar a murcha de fusário e promover o crescimento saudável das plantas de tomate. O desenvolvimento de CuNPs/CuONPs fabricados com polímeros e outros metais proporciona propriedades antifúngicas aprimoradas e mecanismos de defesa induzidos por patógenos nas plantas para proteção ideal.

O trabalho de Van Nguyen et al.[42] exemplificou ainda mais o importante papel do Cu na agricultura. Sementes da elite do milho vietnamita foram tratadas com 4,44 ppm de CuNPs, os resultados sugerem que os CuNPs primaram positivamente o milho para regular mecanismos protetores da planta associados às respostas e tolerância ao estresse hídrico, retendo 70% da água relativa nas folhas e aumentando as atividades das enzimas superóxido dismutase (SOD) e peroxidase de ascorbato (APX), além de aumentar os conteúdos de antocianina, clorofila e carotenoides. Além disso, o tratamento promoveu o crescimento do milho, rendimento de grãos e repressão do acúmulo de ROS no milho sob condições de seca por 21 dias. Isso é de extrema importância em meio aos surtos de temperatura atribuídos ao aquecimento global.

Os principais esforços para eliminar o risco de micotoxinas têm focado no uso de fungicidas como uma abordagem indireta para prevenir a contaminação por micotoxinas. Esses fungicidas são a primeira linha de defesa contra fungos produtores de micotoxinas e podem ser classificados como sistêmicos ou não sistêmicos. Fungicidas sistêmicos são absorvidos pelas plantas, enquanto fungicidas não sistêmicos agem apenas na superfície das plantas, prevenindo a colonização fúngica. No entanto, os fungicidas convencionais enfrentam vários desafios, como: (i) ineficácia ao longo do tempo devido ao desenvolvimento de resistência pelos fungos, (ii) limitação de ação, pois não combatem bactérias, nematoides ou doenças virais, e (iii) alta toxicidade para as plantas e o meio ambiente. Além disso, muitos fungicidas tradicionais não são aprovados para uso na agricultura orgânica[43].

Uma alternativa importante é o uso de fungicidas à base de cobre , como o sulfato de cobre, também conhecido como pedra-azul, e outros derivados de cobre, como a mistura de Bordeaux ($CuSO_4$ e cal) e a mistura de Borgonha ($CuSO_4$ e carbonato de sódio). O cobre é um metal antimicrobiano potente, oferecendo um amplo controle de patógenos. Alguns fungicidas à base de cobre são classificados como inorgânicos e são aprovados para a agricultura orgânica. Estes fungicidas incluem hidróxido de cobre, oxicloreto de cobre e óxido de cobre, e podem ser aplicados como concentrado de suspensão, pó molhável ou grânulos dispersíveis em água. De acordo com a análise de mercado da MarketWatch (2021), o mercado global de fungicidas de cobre foi avaliado em 796,6 milhões de dólares americanos em 2020. Espera-se que esse mercado cresça a uma taxa de crescimento anual composta (CAGR) de 4,0% entre 2021 e 2026, alcançando 1.051,5 milhões de dólares até o final de 2026[44].

O uso de cobre é vantajoso porque é mais barato e menos tóxico do que a prata (Ag) e tem demonstrado eficácia contra uma variedade de fungos patogênicos, como *A. carbonarius*, *A. fumigatus*, *A. niger*, *A. solani*, e *F. expansum*[45]. Além disso, relataram a eficácia do sulfato de cobre ($CuSO_4$) contra *Colletotrichum gloeosporioides*, causador da antracnose em frutos de manga (*Mangifera indica*). Eles descobriram que uma concentração de 0,8 ppm de $CuSO_4$ reduziu significativamente o crescimento de *C. gloeosporioides* e induziu fortes reações de defesa nos frutos de manga[46].

Além disso, o cobre é um dos micronutrientes essenciais para plantas, animais e humanos. Para o crescimento e desenvolvimento das plantas, a concentração ideal de Cu varia entre 0,05 e 0,5 ppm, com a maioria dos tecidos, como células vasculares, dérmicas e do tecido fundamental, contendo entre 3 e 10 ppm. O Cu está envolvido em vários processos fisiológicos, incluindo a formação de clorofila, a fotossíntese, a respiração das plantas e o metabolismo de carboidratos e proteínas. Além disso, atua como cofator em diversas reações enzimáticas, incluindo a ativação de metaloproteínas e na síntese de lignina. As plantas obtêm Cu principalmente de fertilizantes e fungicidas que contêm este metal como ingrediente ativo. Para animais e humanos, as principais fontes dietéticas de Cu incluem frutos do mar (como ostras e mariscos), órgãos de animais (como fígado e rins), vegetais de folhas escuras, grãos integrais, legumes (como feijões e lentilhas), nozes, batatas e frutas secas (como ameixas, cacau e pimenta preta)[47,48].

No corpo humano, a concentração de Cu em um adulto varia entre 1,4 e 2,1 mg por quilograma de peso corporal. Assim, uma pessoa saudável de 60 kg possui aproximadamente 0,1 g de Cu. O Cu está presente no fígado, cérebro, coração, rins e músculos esqueléticos, contribuindo para diversos processos fisiológicos e metabólicos, como a absorção de ferro, a formação de colágeno para ossos fortes e a manutenção da homeostase do sistema nervoso, além de desempenhar um papel na produção de energia. Mesmo em pequenas quantidades, o Cu é essencial para a saúde humana[49,50].

Na agricultura, o uso consistente e eficaz de fungicidas à base de cobre enfrenta vários desafios. A toxicidade para as plantas é uma preocupação, pois o Cu pode se acumular nas raízes, restringindo seu crescimento, queimando as pontas das raízes e causando um crescimento excessivo de raízes laterais. Isso pode resultar em deficiência de nutrientes, clorose, plantas hiperacumuladoras e, em casos mais graves, necrose tecidual e morte das plantas ou culturas. Além disso, o acúmulo de Cu nos sedimentos pode levar à contaminação de longo prazo do solo. Grandes quantidades de fungicidas de Cu podem afetar negativamente a produtividade e o rendimento das culturas e levar ao desenvolvimento de resistência aos fungicidas por fungos produtores de micotoxinas. O excesso de Cu pode competir com a absorção de outros nutrientes essenciais, como ferro

(Fe), molibdênio (Mo) e zinco (Zn), prejudicando ainda mais o crescimento e desenvolvimento das plantas. Além disso, compostos de Cu podem lixiviar da aplicação agrícola para ambientes aquáticos através da água subterrânea, ameaçando espécies aquáticas e outros organismos, representando um risco ambiental significativo[51].

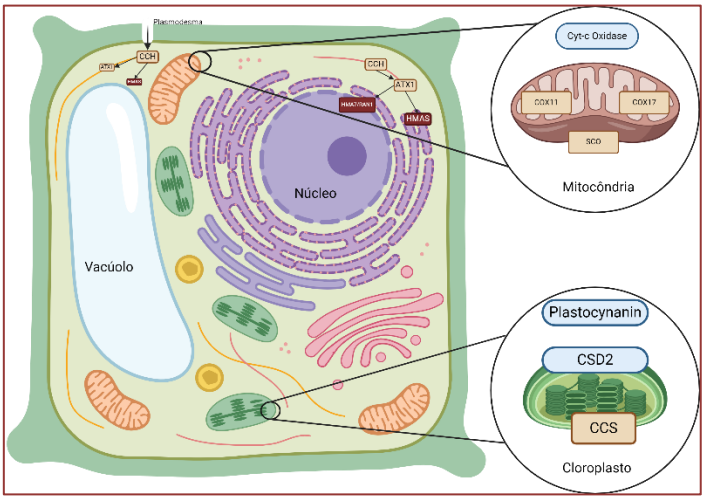
Para minimizar os desafios mencionados, os pesquisadores estão constantemente buscando alternativas para otimizar fungicidas de cobre com efeitos tóxicos reduzidos ou inexistentes. Complexos quelatados de Cu, como a 8-quinolinolato de cobre, são conhecidos por não reagirem com outros constituintes químicos em meio aquoso. Young et al. (2016) avaliaram a atividade fungicida potencial da complexação de Cu^{2+} com benzoidrazona de salicilaldeído (SBH) para liberar Cu^{2+} contra fungos patogênicos, minimizando assim a produção de micotoxinas. Eles compararam a eficácia fungicida do comercial DuPont Kocide 3000, misturas de Kocide 3000/SBH e complexos de Cu^{2+}-SBH. Os resultados mostraram que o complexo Cu^{2+}-SBH melhorou a liberação de Cu^{2+} em baixas concentrações em comparação com Kocide 3000 e suas misturas com SBH, oferecendo uma estratégia para reduzir o impacto ambiental dos fungicidas de Cu.Recentemente, estudou-se 15 fazendas em New Jersey, Estados Unidos, que usaram fungicidas de Cu como óxido cúprico e hidróxido de cobre. A análise do solo revelou níveis elevados de Cu, indicando um acúmulo que pode se tornar tóxico para culturas sensíveis e impactar a saúde do solo[52].

5. NANOFUNGICIDA: MECANISMO DE AÇÃO

Com o surgimento de microrganismos patogênicos resistentes a drogas antimicrobianas e o consequente aumento do risco de infecções hospitalares, os nanomateriais se destacam como alternativas promissoras para o controle de patógenos. Os nanomateriais de cobre já são utilizados como fungicidas, agentes antibacterianos e antifúngico, mas o mecanismo pelo qual inibem o crescimento microbiano ainda está sendo investigado. Entre todas as nanopartículas metálicas com atividade antimicrobiana, a prata tem sido a mais estudada. Por muitos anos, acreditou-se que os mecanismos bactericidas e antifúngicos do cobre fossem semelhantes aos da prata. No entanto, evidências recentes indicam tanto diferenças quanto semelhanças, e mais pesquisas são necessárias para esclarecer o mecanismo exato das propriedades antifúngicas das CuNPs e CuONPs[53,54]

O cobre é conhecido por ser um biocida eficaz e já é amplamente utilizado em pesticidas e produtos antifúngicos devido à sua capacidade de inibir o crescimento de várias cepas bacterianas, algas e fungos de maneira multifacetada, embora o mecanismo exato ainda não seja totalmente compreendido. Além de ser mais barato que a prata e o ouro, o uso de cobre em produtos e estratégias antimicrobianas está crescendo constantemente. As CuNPs também têm a vantagem de serem facilmente oxidadas para formar CuONPs mais estáveis, que podem interagir mais intensamente com macromoléculas celulares[54,55].

Figura 1: Atividade antifúngica de formulações de Cu por meio da liberação de íons Cu2+ e Cu+ e da geração de espécies reativas de oxigênio (ROS) e Cu, funcionalidade de cofator para uma variedade de reações enzimáticas. O Cu participa e/ou está ligado a proteínas (azul), transportadores (vermelho) e chaperonas Cu-metalo (laranja)



O mecanismo de ação das CuNPs provavelmente se baseia na interação com a membrana plasmática de bactérias e fungos, permitindo a permeação das nanopartículas e a liberação de íons Cu^{2+} e Cu^{+}, ilustrado brevemente na Figura 1. Esses íons são transportados através da membrana celular por um sistema de transporte dependente de energia, desestabilizando a integridade da membrana e desencadeando vias de morte celular. Algumas evidências também apontam para a toxicidade dos íons metálicos livres dissolvidos a partir das nanopartículas ligadas à membrana plasmática, juntamente com o estresse oxidativo causado por espécies reativas de oxigênio (ROS) geradas na superfície das nanopartículas[54–56].

As CuNPs podem causar morte celular ao interagir com o DNA, interrompendo os processos de transcrição e replicação. Essas partículas também podem prejudicar funções biológicas essenciais ao se ligar a grupos sulfidrila em proteínas. Além disso, as CuNPs podem afetar as membranas celulares de microrganismos devido à afinidade do cobre por grupos amina e carboxila, presentes nas membranas celulares de bactérias e fungos. Uma vez dentro das células, o cobre pode formar ligações cruzadas entre as fitas de DNA, alterando sua estrutura helicoidal. Parâmetros como o tamanho das partículas e o agente estabilizante/capante são fundamentais para a eficácia das CuNPs na eliminação de micróbios. Diferentes agentes de capeamento podem afetar as defesas antioxidantes e os mecanismos metabólicos das células-alvo. Por isso, o uso de agentes de capeamento biocompatíveis é frequentemente recomendado, pois aumentam a estabilidade das nanopartículas, sua meia-vida, absorção celular e reduzem a toxicidade para as plantas ou culturas protegidas. A concentração de nanopartículas que alcançam o tecido-alvo também é crucial. Quanto menor o tamanho das partículas (e maior a área de superfície por unidade de volume), mais intensa é a interação com as membranas microbianas.

Pařil et al.[57] observaram que o cobre pode melhorar a resistência à decomposição da madeira, tanto lixiviada quanto não lixiviada. Eles descobriram que a eficácia das CuNPs depende significativamente do tamanho, da química de superfície das nanopartículas e da sua concentração. A concentração ideal de 3003 ppm de CuNPs foi eficaz para inibir a

perda de massa de madeira exposta ao fungo de podridão branca Tinea versicolor e ao fungo de podridão vermelha *Phormosoma placenta*. Curiosamente, as nanopartículas de prata (AgNPs) foram menos eficazes do que as CuNPs contra P. placenta. Além disso, a eficácia da madeira não lixiviada diminuiu significativamente após a lixiviação.

Chang et al.[58] resumiram os possíveis mecanismos de toxicidade das nanopartículas de cobre e zinco em células eucarióticas. Eles teorizaram que essas nanopartículas podem entrar nas células através de poros ou canais iônicos naturais na membrana plasmática devido ao seu pequeno tamanho, ou via endocitose. Uma vez dentro, as nanopartículas interagem com estruturas citoplasmáticas e organelas, especialmente mitocôndrias, gerando excesso de ROS que danificam biomoléculas importantes como DNA e metaloproteínas.

A maior parte do conhecimento sobre as propriedades antimicrobianas das nanopartículas metálicas vem da prata, e por muito tempo acreditou-se que o mecanismo de ação do cobre fosse similar. Um dos efeitos mais importantes das nanopartículas de prata em fungos é a inibição do crescimento, seguida por danos na parede celular e comprometimento da estabilidade da membrana. Além disso, íons de prata podem reagir com várias biomoléculas, levando à perda de função. Eles podem formar complexos com o DNA, suprimindo a replicação do material genético, e reagir com grupos tiol, carboxilato, fosfato, hidroxila, amina, imidazol e indol em enzimas, inibindo vias metabólicas importantes e levando à morte celular. A prata também pode interagir com ribossomos, regulando negativamente proteínas e enzimas ligadas à produção de ATP, e causar o acúmulo de fosfato, manitol, succinato, glutamina e prolina dentro das células, alterando o metabolismo celular. Esses efeitos são devidos aos íons de prata liberados no ambiente aquoso, e resultados semelhantes são observados após a administração de íons de prata isoladamente[59].

Os íons de cobre (Cu^{2+} e Cu^{+}) também podem ser liberados a partir de CuNPs e CuONPs via reação oxidativa, sendo capazes de doar e aceitar elétrons. Isso catalisa a formação de ROS, como radicais hidroxila (OH•) e ânions superóxido ($O_2•^-$), que exercem efeitos tóxicos sobre células microbianas através do estresse oxidativo nos lipídios de membrana (peroxidação lipídica), aminoácidos em proteínas e ácidos nucleicos, resultando na desativação oxidativa de enzimas. Em bactérias, íons Cu^{+} e Cu^{2+} podem interagir eletrostaticamente com peptidoglicano e outras moléculas carregadas da parede celular. Essas reações redox na superfície celular geram peróxido de hidrogênio (H_2O_2), produzindo OH•, que prejudica a estabilidade da membrana plasmática. No interior das células, os cátions de cobre podem influenciar processos bioquímicos, deslocar cofatores metálicos de sítios de ligação em proteínas, levando à perda de função, e se ligar ao DNA, formando ligações cruzadas que desestabilizam a estrutura helicoidal[60].

Um dos principais mecanismos sugeridos para a ação antifúngica das CuNPs e CuONPs envolve a desestabilização da parede celular fúngica e a toxicidade intracelular após a penetração. As paredes celulares dos fungos são compostas principalmente por glicoproteínas e polissacarídeos, como glicano e quitina, que protegem as células contra estresses ambientais. A toxicidade começa com a ligação das CuNPs/CuONPs à parede celular, seja por adsorção superficial ou outros mecanismos, causando danos à integridade da membrana plasmática[61].

É provável que ocorra uma produção significativa de ROS próximas à membrana devido à presença das nanopartículas, comprometendo o equilíbrio dinâmico da membrana e levando à apoptose celular. As CuNPs e CuONPs são absorvidas pela célula através de

sistemas de transporte, endocitose e/ou captação mediada por receptor, liberando íons Cu^{2+} e Cu^{+} que se difundem para dentro das células. Esses íons interrompem a cadeia respiratória mitocondrial e geram ROS adicionais via reações tipo Fenton e tipo Haber-Weiss. As CuNPs induzem estresse oxidativo (O2•⁻ e OH•) via reação tipo Fenton e são oxidadas para CuONPs, que reagem com H_2O_2 para induzir OH• via reação tipo Haber-Weiss, causando danos a estruturas celulares próximas, como mitocôndrias, lisossomos, retículo endoplasmático e ribossomos. As CuNPs podem causar vazamento de eletrólitos celulares devido à perturbação da membrana celular e ao desequilíbrio osmótico. Além disso, os íons Cu^{2+} liberados competem com íons de ferro (Fe^{2+}), catalisados por cuproenzimas, impedindo que proteínas se liguem corretamente aos cofatores e inibindo a função proteica[62–64].

Essas nanopartículas também podem se aglomerar próximas à membrana nuclear e, algumas vezes, entrar no núcleo, causando danos ao material genético e levando à morte celular. Os íons Cu^{+} e Cu^{2+} liberados podem quelatar nos sítios ativos de certas proteínas, afetando seus caminhos e estimulando o estresse oxidativo. Ma e seus colegas elucidaram os mecanismos biomoleculares das CuNPs, especificamente os complexos de Cu coordenados por O-carboximetil quitosana-C (O-CSLn-Cu), contra *Phytophthora capsici*, um patógeno vegetal importante para a agricultura. Usando os complexos a 150 ppm, os autores observaram uma diminuição da viabilidade hifal e um intenso comprometimento na integridade da membrana celular após 12 horas de tratamento. Alterações morfológicas nos micélios também foram observadas, como encolhimento e inchaço ou afundamento e inchaço, provavelmente atribuídas à morte celular mediada por ROS de Cu via disfunção mitocondrial[65,66].

Quando se trata dos efeitos intracelulares, os mesmos autores identificaram 1172 proteínas com expressão alterada após o tratamento: cerca da metade foi regulada para baixo e a outra metade foi regulada para cima. Essas proteínas foram agrupadas em três categorias principais: processos biológicos (BP), componentes celulares (CC) e funções moleculares (MF). As proteínas do grupo BP estavam envolvidas em processos metabólicos, processos celulares, localização e regulação biológica. O grupo CC incluía proteínas e complexos proteicos presentes na membrana e em organelas importantes. Por fim, o grupo MF era composto por proteínas ligadas à catálise, atividade de ligação de transportadores, moléculas estruturais e capacidade antioxidante. Os processos biológicos mais afetados incluíram a biossíntese de acetil-CoA, o metabolismo de glutationa, compostos de enxofre e acetato, atividades enzimáticas, e a formação e transporte de vesículas[67].

Além disso, vários metabólitos foram expressos diferencialmente devido à ação de O-CSLn-Cu, sendo localizados em diferentes partes da célula: 61 no citoplasma, 33 nas mitocôndrias, 16 na membrana plasmática, 7 nos peroxissomos, 7 nos adipossomos, 7 no aparelho de Golgi, 10 no peroxissomo e 7 na bainha de mielina. Esses metabólitos participam de 136 vias celulares diferentes, destacando-se o ciclo do citrato, a digestão e absorção de proteínas, e o metabolismo de purinas, alanina, aspartato e glutamato. Isso confirma que as CuNPs exercem efeitos significativos nas mitocôndrias, que foram as organelas mais afetadas. A atividade do complexo desidrogenase do alfa-cetoglutarato (α-KGDHC) diminuiu, assim como os níveis de ATP e citrato após 12 horas de tratamento com O-CSLn-Cu[67].

Os baixos níveis de ATP podem ser explicados pela diminuição do ciclo do citrato, causada pela regulação negativa dos metabólitos citrato, cis-aconitato, succinato e L-malato. Além disso, alterações morfológicas nas mitocôndrias foram observadas, como

o desaparecimento das cristas e a alteração da conformação da bicamada. O potencial da membrana mitocondrial (PMM) também diminuiu significativamente após o tratamento. No entanto, as mitocôndrias não são as únicas responsáveis pelas alterações observadas, uma vez que a suplementação de ATP aos níveis normais não foi suficiente para reverter todos os danos causados pelo tratamento. Uma vez que as mitocôndrias são danificadas, as ROS podem se acumular e reagir com biomoléculas importantes, especialmente o DNA, levando à morte celular. De fato, um nível elevado de ROS foi detectado nos micélios de *P. capsici*, corroborando a ideia de que o dano às mitocôndrias desempenha um papel crucial na inibição dos fungos[13,68].

6. CONCLUSÃO

Embora os nanopesticidas à base de cobre estejam se tornando populares devido às suas excelentes atividades antibacterianas, antifúngicas e inseticidas, estudos extensivos são necessários sobre seu destino ambiental, biodisponibilidade, biomassa forrageira, conteúdo de nutrientes minerais das plantas, toxicidade em relação a microrganismos benéficos não-alvo associados às plantas (rizobactérias promotoras do crescimento das plantas, bactérias fixadoras de nitrogênio, fungos micorrízicos, actinomicetos), insetos, plantas terrestres, animais, humanos e outros biomas; ciclo de carbono e fósforo mediado por enzimas microbianas no solo, acúmulo e estresse oxidativo induzido em várias culturas, etc. Além disso, os protocolos e modelos necessários para a avaliação da nanoecotoxicidade precisam ser desenvolvidos. Portanto, a formulação específica, a avaliação de toxicidade e a pesquisa de avaliação de risco devem ser realizadas caso a caso para decidir/limitar sua aplicação como agente de proteção de plantas ou fitotóxico. Além disso, é necessário trabalhar na ação combinada de nanopesticidas à base de cobre com outros pesticidas químicos no solo em termos de adsorção, dissipação e meia-vida; dinâmicas de perfis da comunidade microbiana (bactérias, fungos), etc. são previstas. Além disso, os órgãos estatutários e regulatórios devem fornecer diretrizes sobre a rotulagem e rastreamento de nanopesticidas.

REFERÊNCIAS

[1] Jarvis, B. B. & Miller, J. D. Mycotoxins as harmful indoor air contaminants. Applied Microbiology and Biotechnology vol. 66 367–372 Preprint at https://doi.org/10.1007/s00253-004-1753-9 (2005).

[2] Van Nguyen, D. et al. Copper Nanoparticle Application Enhances Plant Growth and Grain Yield in Maize Under Drought Stress Conditions. J Plant Growth Regul 41, 364–375 (2022).

[3] Singh, H. et al. Recent advances in the applications of nano-agrochemicals for sustainable agricultural development. Environmental Science: Processes and Impacts vol. 23 213–239 Preprint at https://doi.org/10.1039/d0em00404a (2021).

[4] Nisar, P., Ali, N., Rahman, L., Ali, M. & Shinwari, Z. K. Antimicrobial activities of biologically synthesized metal nanoparticles: an insight into the mechanism of action. Journal of Biological Inorganic Chemistry vol. 24 929–941 Preprint at https://doi.org/10.1007/s00775-019-01717-7 (2019).

[5] Mastin, B. J. & Rodgers, J. H. Toxicity and bioavailability of copper herbicides (clearigate, cutrine-plus, and copper sulfate) to freshwater animals. Arch Environ Contam Toxicol 39, 445–451 (2000).

[6] Brauer, V. S. et al. Antifungal agents in agriculture: Friends and foes of public health. Biomolecules vol. 9 Preprint at https://doi.org/10.3390/biom9100521 (2019).

[7] Da Costa, M. V. J., Kevat, N. & Sharma, P. K. Copper Oxide Nanoparticle and Copper (II) Ion Exposure in Oryza sativa Reveals Two Different Mechanisms of Toxicity. Water Air Soil Pollut 231, (2020).

[8] Mir, A. R., Pichtel, J. & Hayat, S. Copper: uptake, toxicity and tolerance in plants and management

of Cu-contaminated soil. BioMetals vol. 34 737–759 Preprint at https://doi.org/10.1007/s10534-021-00306-z (2021).

[9] Ingle, A. P., Duran, N. & Rai, M. Bioactivity, mechanism of action, and cytotoxicity of copper-based nanoparticles: A review. Applied Microbiology and Biotechnology vol. 98 1001–1009 Preprint at https://doi.org/10.1007/s00253-013-5422-8 (2014).

[10] Lopez-Lima, D., Mtz-Enriquez, A. I., Carrión, G., Basurto-Cereceda, S. & Pariona, N. The bifunctional role of copper nanoparticles in tomato: Effective treatment for Fusarium wilt and plant growth promoter. Sci Hortic 277, (2021).

[11] Quaranta, D. et al. Mechanisms of contact-mediated killing of yeast cells on dry metallic copper surfaces. Appl Environ Microbiol 77, 416–426 (2011).

[12] Tegenaw, A., Sorial, G. A., Sahle-Demessie, E. & Han, C. Influence of water chemistry on colloid-size Cu-based pesticides particles: A case of Cu(OH)2 commercial fungicide/bactericide. Chemosphere 239, (2020).

[13] Hussain, S. et al. A Perspective Study on Copper Oxide Nanoparticles and Their Role in Different Fields of Biomedical Sciences. International Journal of Scientific Research and Engineering Development 3, 1246–1256 (2020).

[14] Letchumanan, D., Sok, S. P. M., Ibrahim, S., Nagoor, N. H. & Arshad, N. M. Plant-based biosynthesis of copper/copper oxide nanoparticles: An update on their applications in biomedicine, mechanisms, and toxicity. Biomolecules vol. 11 Preprint at https://doi.org/10.3390/biom11040564 (2021).

[15] Duhan, J. S. et al. Nanotechnology: The new perspective in precision agriculture. Biotechnology Reports vol. 15 11–23 Preprint at https://doi.org/10.1016/j.btre.2017.03.002 (2017).

[16] Mir, A. R., Pichtel, J. & Hayat, S. Copper: uptake, toxicity and tolerance in plants and management of Cu-contaminated soil. BioMetals vol. 34 737–759 Preprint at https://doi.org/10.1007/s10534-021-00306-z (2021).

[17] Damalas, C. A. & Koutroubas, S. D. Farmers' exposure to pesticides: Toxicity types and ways of prevention. Toxics vol. 4 Preprint at https://doi.org/10.3390/toxics4010001 (2016).

[18] Singh, B. K., Tiwari, S. & Dubey, N. K. Essential oils and their nanoformulations as green preservatives to boost food safety against mycotoxin contamination of food commodities: a review. Journal of the Science of Food and Agriculture vol. 101 4879–4890 Preprint at https://doi.org/10.1002/jsfa.11255 (2021).

[19] Shang, Y. et al. Applications of nanotechnology in plant growth and crop protection: A review. Molecules vol. 24 Preprint at https://doi.org/10.3390/molecules24142558 (2019).

[20] Letchumanan, D., Sok, S. P. M., Ibrahim, S., Nagoor, N. H. & Arshad, N. M. Plant-based biosynthesis of copper/copper oxide nanoparticles: An update on their applications in biomedicine, mechanisms, and toxicity. Biomolecules vol. 11 Preprint at https://doi.org/10.3390/biom11040564 (2021).

[21] Camacho-Flores, B. A. et al. Copper: Synthesis techniques in nanoscale and powerful application as an antimicrobial agent. Journal of Nanomaterials vol. 2015 Preprint at https://doi.org/10.1155/2015/415238 (2015).

[22] Konappa, N. et al. Nanofertilizers and nanopesticides: Recent trends, future prospects in agriculture. in Advances in Nano-Fertilizers and Nano-Pesticides in Agriculture 281–330 (Elsevier, 2021). doi:10.1016/B978-0-12-820092-6.00012-4.

[23] Castro-Mayorga, J. L., Cabrera-Villamizar, L., Balcucho-Escalante, J., Fabra, M. J. & López-Rubio, A. Applications of nanotechnology in agry-food productions. in Nanotoxicity 319–340 (Elsevier, 2020). doi:10.1016/B978-0-12-819943-5.00015-4.

[24] Agrimonti, C., Lauro, M. & Visioli, G. Smart agriculture for food quality: facing climate change in the 21st century. Crit Rev Food Sci Nutr 61, 971–981 (2021).

[25] Adisa, I. O. et al. Recent advances in nano-enabled fertilizers and pesticides: a critical review of mechanisms of action. Environ Sci Nano 6, 2002–2030 (2019).

[26] Zhang, X., Li, G., Wu, D., Liu, J. & Wu, Y. Recent advances on emerging nanomaterials for controlling the mycotoxin contamination: From detection to elimination. Food Front 1, 360–381 (2020).

[27] Chen, R. et al. A copper monosulfide-nanoparticle-based fluorescent probe for the sensitive and specific detection of ochratoxin A. Talanta 222, 121678 (2021).

[28] Song, C., Hong, W., Zhang, X. & Lu, Y. Label-free and sensitive detection of Ochratoxin A based on dsDNA-templated copper nanoparticles and exonuclease-catalyzed target recycling amplification. Analyst 143, 1829–1834 (2018).

[29] Melendez, M. V., Heckman, J. R., Murphy, S. & D'Amico, F. New Jersey Farm Soil Copper Levels Resulting from Copper Fungicide Applications. Horttechnology 30, 268–272 (2020).

[30] Nath, A. et al. Agrochemicals from nanomaterials—Synthesis, mechanisms of biochemical activities and applications. in 263–312 (2019). doi:10.1016/bs.coac.2019.04.004.

[31] Tegenaw, A. et al. Characterization and Potential Environmental Implications of Select Cu-Based Fungicides and Bactericides Employed in U.S. Markets. Environ Sci Technol 49, 1294–1302 (2015).

[32] Nile, S. H. et al. Nanotechnologies in Food Science: Applications, Recent Trends, and Future Perspectives. Nanomicro Lett 12, 45 (2020).

[33] Jesmin, R. & Chanda, A. Restricting mycotoxins without killing the producers: a new paradigm in nano-fungal interactions. Appl Microbiol Biotechnol 104, 2803–2813 (2020).

[34] Maqsood, S. et al. Antifungal Properties of Copper Nanoparticles against Aspergillus niger. Scholars International Journal of Biochemistry 03, 87–91 (2020).

[35] Keller, A. A. et al. Comparative environmental fate and toxicity of copper nanomaterials. NanoImpact 7, 28–40 (2017).

[36] El-Abeid, S. E., Ahmed, Y., Daròs, J.-A. & Mohamed, M. A. Reduced Graphene Oxide Nanosheet-Decorated Copper Oxide Nanoparticles: A Potent Antifungal Nanocomposite against Fusarium Root Rot and Wilt Diseases of Tomato and Pepper Plants. Nanomaterials 10, 1001 (2020).

[37] Shah, B. R. & Mraz, J. Advances in nanotechnology for sustainable aquaculture and fisheries. Rev Aquac 12, 925–942 (2020).

[38] Malhotra, N. et al. Review of Copper and Copper Nanoparticle Toxicity in Fish. Nanomaterials 10, 1126 (2020).

[39] Sidhu, A., Barmota, H. & Bala, A. Antifungal evaluation studies of copper sulfide nano-aquaformulations and its impact on seed quality of rice (Oryzae sativa). Appl Nanosci 7, 681–689 (2017).

[40] Mali, S. C., Dhaka, A., Githala, C. K. & Trivedi, R. Green synthesis of copper nanoparticles using Celastrus paniculatus Willd. leaf extract and their photocatalytic and antifungal properties. Biotechnology Reports 27, e00518 (2020).

[41] Lopez-Lima, D., Mtz-Enriquez, A. I., Carrión, G., Basurto-Cereceda, S. & Pariona, N. The bifunctional role of copper nanoparticles in tomato: Effective treatment for Fusarium wilt and plant growth promoter. Sci Hortic 277, 109810 (2021).

[42] Van Nguyen, D. et al. Copper Nanoparticle Application Enhances Plant Growth and Grain Yield in Maize Under Drought Stress Conditions. J Plant Growth Regul 41, 364–375 (2022).

[43] Thipe, V. C., Batista, J. G. S. & Lugão, A. B. Copper nanomaterials for eliminating the risk of mycotoxins. in Copper Nanostructures: Next-Generation of Agrochemicals for Sustainable Agroecosystems 243–262 (Elsevier, 2022). doi:10.1016/B978-0-12-823833-2.00026-X.

[44] Adisa, I. O. et al. Recent advances in nano-enabled fertilizers and pesticides: a critical review of mechanisms of action. Environ Sci Nano 6, 2002–2030 (2019).

[45] Nath, A. et al. Agrochemicals from nanomaterials—Synthesis, mechanisms of biochemical activities and applications. in 263–312 (2019). doi:10.1016/bs.coac.2019.04.004.

[46] Tang, H. et al. Liver toxicity assessments in rats following sub-chronic oral exposure to copper nanoparticles. Environ Sci Eur 31, 30 (2019).

[47] Adisa, I. O. et al. Recent advances in nano-enabled fertilizers and pesticides: a critical review of mechanisms of action. Environ Sci Nano 6, 2002–2030 (2019).

[48] He, X., Deng, H. & Hwang, H. The current application of nanotechnology in food and agriculture. J Food Drug Anal 27, 1–21 (2019).

[49] Konappa, N. et al. Nanofertilizers and nanopesticides: Recent trends, future prospects in agriculture. in Advances in Nano-Fertilizers and Nano-Pesticides in Agriculture 281–330 (Elsevier, 2021). doi:10.1016/B978-0-12-820092-6.00012-4.

[50] Nath, A. et al. Agrochemicals from nanomaterials—Synthesis, mechanisms of biochemical activities and applications. in 263–312 (2019). doi:10.1016/bs.coac.2019.04.004.

[51] Gogos, A., Knauer, K. & Bucheli, T. D. Nanomaterials in Plant Protection and Fertilization: Current State, Foreseen Applications, and Research Priorities. J Agric Food Chem 60, 9781–9792 (2012).

[52] Melendez, M. V., Heckman, J. R., Murphy, S. & D'Amico, F. New Jersey Farm Soil Copper Levels Resulting from Copper Fungicide Applications. Horttechnology 30, 268–272 (2020).

[53] Kruk, T., Szczepanowicz, K., Stefańska, J., Socha, R. P. & Warszyński, P. Synthesis and antimicrobial activity of monodisperse copper nanoparticles. Colloids Surf B Biointerfaces 128, 17–22 (2015).

[54] Ingle, A. P., Duran, N. & Rai, M. Bioactivity, mechanism of action, and cytotoxicity of copper-based nanoparticles: A review. Applied Microbiology and Biotechnology vol. 98 1001–1009 Preprint at https://doi.org/10.1007/s00253-013-5422-8 (2014).

[55] Akturk, A., Güler, F. K., Taygun, M. E., Goller, G. & Küçükbayrak, S. Synthesis and antifungal activity of soluble starch and sodium alginate capped copper nanoparticles. Mater Res Express 6, 1250g3 (2020).

[56] Nisar, P., Ali, N., Rahman, L., Ali, M. & Shinwari, Z. K. Antimicrobial activities of biologically synthesized metal nanoparticles: an insight into the mechanism of action. Journal of Biological Inorganic Chemistry vol. 24 929–941 Preprint at https://doi.org/10.1007/s00775-019-01717-7 (2019).

[57] Pařil, P. et al. Antifungal effects of copper and silver nanoparticles against white and brown-rot fungi. J Mater Sci 52, 2720–2729 (2017).

[58] Cioffi, N. et al. Copper Nanoparticle/Polymer Composites with Antifungal and Bacteriostatic Properties. Chemistry of Materials 17, 5255–5262 (2005).

[59] Mujeeb, A. A. et al. Olax scandens Mediated Biogenic Synthesis of Ag-Cu Nanocomposites: Potential Against Inhibition of Drug-Resistant Microbes. Front Chem 8, (2020).

[60] Arendsen, L. P., Thakar, R. & Sultan, A. H. The Use of Copper as an Antimicrobial Agent in Health Care, Including Obstetrics and Gynecology. Clin Microbiol Rev 32, (2019).

[61] Pinto, M. R., Barreto-Bergter, E. & Taborda, C. P. Glycoconjugates and polysaccharides of fungal cell wall and activation of immune system. Brazilian Journal of Microbiology 39, 195–208 (2008).

[62] Valko, M., Rhodes, C. J., Moncol, J., Izakovic, M. & Mazur, M. Free radicals, metals and antioxidants in oxidative stress-induced cancer. Chem Biol Interact 160, 1–40 (2006).

[63] Thannickal, V. J. & Fanburg, B. L. Reactive oxygen species in cell signaling. American Journal of Physiology-Lung Cellular and Molecular Physiology 279, L1005–L1028 (2000).

[64] Mosa, K. A. et al. Copper Nanoparticles Induced Genotoxicty, Oxidative Stress, and Changes in Superoxide Dismutase (SOD) Gene Expression in Cucumber (Cucumis sativus) Plants. Front Plant Sci 9, (2018).

[65] Waldron, K. J. & Robinson, N. J. How do bacterial cells ensure that metalloproteins get the correct metal? Nature Reviews Microbiology vol. 7 25–35 Preprint at https://doi.org/10.1038/nrmicro2057 (2009).

[66] Robinson, J. R., Isikhuemhen, O. S. & Anike, F. N. Fungal–Metal Interactions: A Review of Toxicity and Homeostasis. Journal of Fungi 7, 225 (2021).

[67] Ma, Y. et al. Integrated proteomics and metabolomics analysis reveals the antifungal mechanism of the C-coordinated O-carboxymethyl chitosan Cu(II) complex. Int J Biol Macromol 155, 1491–1509 (2020).

[68] Ali Soomro, R. et al. Synthesis Of Air Stable Copper Nanoparticles And Their Use In Catalysis. Adv Mater Lett 5, 191–198 (2014).

Capítulo 9

Importância e dificuldades no controle de Conyza spp., na pré-semeadura da soja no estado do Mato Grosso do Sul: uso de pré-emergentes e carryover

Pedro Antonio Vougodo Salmazo
Paulo Vinicius da Silva
Guilherme Pereira da Silva
Gabriel Pereira Silva
Oscar Xavier Zanchet
Bruna Ferrari Schedenffeldt
Heitor Nunes Santana
José Thiago Souza Battaglin

Resumo: A dessecação pré-semeadura de *Conyza spp.* é influenciada pelas variações climáticas, que desempenham um papel crucial na estrutura foliar da planta e no posicionamento de herbicidas pós-emergentes e na ação residual dos herbicidas pré-emergentes aplicados impactando na intensidade da fitotoxicidade observada na cultura da soja. Desta forma acabam afetando diretamente a eficácia dos herbicidas no controle da *Conyza spp.* e na resposta fisiológica das plantas de soja, criando um cenário complexo de interações entre o ambiente, os produtos aplicados e as plantas cultivadas. Este capítulo tem como objetivo destacar a importância do uso de herbicidas pré-emergentes antes da semeadura da soja, seja por meio da dessecação pré-semeadura ou pelo manejo antecipado. Dessa forma o uso inadequado de herbicidas posicionados na dessecação pré-semeadura pode resultar em efeitos fitotóxicos adversos à cultura da soja, como o efeito plant-back, ou em controle ineficiente da planta daninha. A utilização de pré-emergentes no manejo antecipado é uma estratégia viável para controlar os novos fluxos de *Conyza spp.* do momento de aplicação do primeiro herbicida até próximo e/ou posteriormente a semeadura da soja. No entanto, as condições climáticas no local de aplicação afetam diretamente a eficiência desses herbicidas (pós e pré-emergentes), devido à sua interação com as características físico-químicas dos produtos. Excessos de chuva ou longos períodos de seca e altas temperaturas podem reduzir o período residual dos herbicidas no solo, alterando o intervalo ideal de aplicação. Ao passo que a restrição hídrica pode limitar a eficácia agronômica dos herbicidas pré e pós-emergentes. Assim, é essencial ajustar o posicionamento do manejo de acordo com as condições climáticas para garantir a máxima eficiência no controle da *Conyza spp.* e minimizar o risco de danos à cultura da soja. Portanto, este capítulo se propõem a discutir o manejo eficiente de *Conyza spp.* na dessecação pré-semeadura de soja na associação de herbicidas pré e pós-emergentes sobre a influência das condições climáticas. O entendimento detalhado dessas interações entre os herbicidas, as plantas daninhas e o ambiente é crucial para maximizar a eficácia do controle e minimizar os riscos de fitotoxicidade na soja. A adequação do manejo ao clima local, com ajustes no momento da aplicação, é fundamental para garantir o estabelecimento do residual dos herbicidas no período adequado e o sucesso no controle da planta daninha, evitando, assim, prejuízos à produtividade da cultura.

Palavras–chave: manejo outonal, sorção, condições climáticas, buva.

1. INTRODUÇÃO

1.1. IMPORTÂNCIA DA SOJA EM CONTEXTO NACIONAL

Em níveis nacionais a cultura da soja representa uma área de produção de 147,68 milhões de ha na safra de 2023/2024, resultado do acréscimo de 3,8% em relação à safra anterior, no entanto, as produtividades foram menores do que as da safra anterior em quase todo o país, devido às condições climáticas adversas durante o plantio e desenvolvimento da cultura, com períodos de falta e excesso de precipitações em momentos cruciais para o crescimento da cultura (CONAB 2024). Esse desempenho contribuiu para permanecia do Brasil no ranking dos maiores produtores de soja do mundo há mais de 15 anos. O Brasil se destaca na exportação desse comodity, pois apenas 52.323,2 mil toneladas da produção total foram destinadas ao consumo interno, enquanto 92,5 milhões toneladas foram para exportação. (CONAB 2024).

O centro oeste do Brasil apresenta destaque na produção de soja no país. Dentre os estados desta região Mato Grosso do Sul, alcançou uma área de 4.213.612,22 hectares colhidas de soja com uma produtividade média de 48,84 sacos por ha, chegando a uma produção final de 12.347.569,25 toneladas na safra de 2023/2024 (FAMASUL 2024). Esses resultados foram viabilizados pela presença de chuvas em períodos decisivos do desenvolvimento fenológico da cultura principalmente nas cidades de Alcinópolis, São Gabriel do Oeste e Chapadão do sul as quais tiveram os maiores índices produtivos (FAMASUL 2024).

Uma região destaque na produção de soja e o centro-oeste brasileiro, e consequentemente o estado do Mato Grosso Sul, onde em partes está localizado o bioma do cerrado, o qual apresenta solos altamente intemperizados, com maior acidez e baixa disponibilidade de nutrientes, sendo fatores esses limitantes ao desenvolvimento de plantas (Barreto, 2021). A evolução tecnológica em sistemas agrícolas minimizou estes problemas garantindo a produção de soja no cerrado. Dentre as práticas adotadas podemos citar a redução de Al^{+3}, através do aumento do pH do solo favorecendo a disponibilidade de nutrientes (Texeira, 2022).

Por fim, realizar a semeadura de soja na janela adequada da região, isto é, no período em que se tem as melhores condições exigências climáticas disponíveis para o desenvolvimento da planta é de suma importância. No Mato grosso do Sul, a semeadura da soja ocorre a partir da segunda quinzena de setembro até final de dezembro, ou seja, posterior a colheita do milho (MAPA, 2023). Nesse período se observa temperaturas basais superiores e inferiores, adequadas a soja, no caso 35° C e 13° C, respectivamente. Já a exigência hídrica da soja, deve ser superior a 450 mm durante todo o ciclo distribuídas de forma homogênea. O déficit hídrico, caso ocorra, apresenta maiores danos no estágio vegetativo, resultando em redução de área foliar, plantas pequenas, entrenós curtos, murchamento de tecidos vegetais, fechamento dos folíolos, , enrolamento de folhas, fechamento dos estômatos e queda prematura de folhas. Os danos também podem ser observados no estágio reprodutivo com abortamento de flores e vagens além de enchimento de grãos deficitário (Dong et al., 2019).

1.2 *CONYZA SPP*: BIOLOGIA E CARACTERÍSTICAS PARA SER UMA PLANTA DE DIFÍCIL CONTROLE

O gênero *Conyza* spp., popularmente conhecido como buva, faz parte da família Asteraceae e compreende aproximadamente 50 espécies. Dentre essas, as mais frequentes são *C.*

bonariensis, C. Sumatrensis e *C. Canadenses*, sendo que as duas primeiras espécies estão distribuídas em todo o Brasil, em campos cultivados e não cultivados (áreas não agrícolas), pastagens e culturas forrageiras. As espécies do gênero *Conyza* são caracterizadas por possuírem caules simples ou ramificados desde a base, folhas alternadas ou sésseis, com margem variáveis, contendo capítulos geralmente pedunculados e dispostos isoladamente ou em inflorescências secundárias (Ulzurrun et al., 2020).

As plantas de *Conyza spp.* englobam espécies notavelmente polimórficas, ou seja, apresentam alta porcentagem de frequência alélica em sua população garantindo assim uma grande variação entre indivíduos, que por consequência torna a identificação delas um desafio (Singh, 2018). A disseminação da *Conyza spp.,* por múltiplos continentes evidência sua notável adaptabilidade, uma característica diretamente ligada à riqueza genética dessas espécies. Além disso, essas plantas produzem sementes leves o que facilita sua propagação através do vento, tornando seu controle ainda mais difícil na área (Cabi, 2018).

No ciclo da *Conyza spp.,* se observa emergência e desenvolvimento inicial durante o outono/inverno com florescimento e encerramento fisiológico no verão, portanto é uma planta que necessita de baixas temperaturas para sua emergência, mas de altas para seu desenvolvimento vegetativo. Essa característica em áreas cultivadas com o sistema de sucessão soja/milho, resulta em fluxo de emergência de *Conyza spp.* a partir da colheita do milho safrinha até a semeadura da soja. Logo, o melhor momento para o controle é entre as sucessões das culturas (soja e milho) controlando fluxos de emergência, reduzindo a densidade de plantas e o estabelecimento de *Conyza spp*. na cultura da soja (Albrecht et al., 2019).

Em cenário nacional, as espécies de *Conyza*, afetam cerca de 40,8% a 49% das áreas destinadas ao cultivo de soja. Isso equivale a uma extensão aproximada de 16.207.463 hectares. Nas regiões Sul e Sudeste do país, aproximadamente 81% das aplicações de herbicidas foram direcionadas para o controle de plantas *Conyza spp.* Essa maior proporção de infestação e necessidade de controle, está associada às condições climáticas e aos padrões de cultivo predominantes nessas regiões, favorecendo o desenvolvimento dessa espécie (Lucio et al., 2019).

Visando se obter um controle de *Conyza spp.,* com porcentagens superiores a 80%, um manejo se estabeleceu como recorrente, através de uma primeira aplicação da associação de 2,4 D + glifosato, com sequencial após 10-15 dias de algum produto de contato, a exemplo do paraquat, o qual após o seu banimento foi substituído pelo diquat (ANVISA, 2020). No entanto, no Brasil no ano de 2017, foi reportada resistência múltipla de biotipos de *Conyza sumatresnis*, a cinco diferentes mecanismos de ação: Auxinas sintéticas (2,4 D), EPSPs (A 5-enolpiruvilxiquimato-3-fosfato), Protox (protoporfirinogen oxidase), FSI (fotossistema I) e ALS (acetolactato sintase) (HEAP, 2023). Sendo que para auxinas sintéticas o mecanismo de resistência identificado foi a rápida necrose. Esses biotipos resistentes ao 2,4 D se disseminaram por diferentes regiões do Brasil, de forma muito rápida, limitando o uso desse herbicida de forma eficiente no controle de *Conyza spp.* gerando perdas e custos, na busca por estratégias alternativas de controle (Vieira et al., 2018).

Albrecht e Albrecht (2021), realizando o mapeamento da resistência da *Conyza spp.* à herbicidas durante as safras 2017/18, 2018/19 e 2019/20, com coletas realizadas no Oeste do estado do Paraná e Sul do estado do Mato Grosso do Sul, identificaram 23

biótipos de *Conyza* spp. (4,9%) com resistência a glifosato, clorimurom, paraquate e 2,4-D; 73 biótipos (15,8%) com resistência a glifosato, clorimuron e paraquate e outros 59 (12,8%) com resistência a glifosato, clorimurom e 2,4-D. Por fim, 235 de biótipos (51%) apresentaram resistência ao glifosato e clorimurom e 196 (42,5%) apresentaram resistência somente a glifosato destacando a problemática da disseminação e evolução de diferentes combinações de resistência múltipla da *Conyza spp*. à herbicidas.

Bacin et al. (2020), reportam que a infestação de biotipos resistentes de *Conyza spp.* ao herbicida 2,4 D elevaram os custos de produção da cultura de soja, devido a necessidade de substituição na dessecação pré-semeadura por outros herbicidas auxínicos e inibidores da protox. Os autores ainda destacam, que a situação pode ser ainda mais crítica, quando coexistem a infestação de *Conyza spp*. e *D.insularis* nas áreas de produção com resistência múltipla, pois o custo pode ser elevado em até 165% do estimado para herbicidas na cultura da soja.

2. ESTRATÉGIAS PARA CONTROLE DE *CONYZA SPP.*

2.1. MANEJO DE *CONYZA SPP.* NA DESSECAÇÃO PRÉ-SEMEADURA DE SOJA

A infestação de *Conyza spp.* interfere diretamente no desenvolvimento vegetativo da soja e consequentemente afeta a qualidade de seus grãos (deformações e perda de vigor). Albrecht et al. (2019), em áreas de soja infestadas com 0,16 a 0,62 plantas m^{-2} de *Conyza spp.,* observou uma redução de produtividade equivalente a 12,54 e 13,72%, respectivamente.

Por essa agressividade e iminência de perda de produtividade se faz necessário o manejo de forma antecipada da *Conyza spp.,* sendo os maiores esforços na dessecação pré semeadura, sendo direcionadas de duas formas, a primeira em aplicação única de produtos isolados e/ou em associação para plantas com altura inferior a 10 cm de altura (Gazola et al., 2022) ou em plantas com altura superior a 10 cm, através de aplicações sequenciais, onde no primeiro posicionamento de herbicidas frequentemente se aplica um produto sistêmico e na segunda aplicação, após um intervalo que pode variar de 7–15 dias e efetuada uma aplicação de herbicida de contato/dessecante (Schneider et al., 2022; Albrecht et al., 2020; Ferraz et al., 2020).

Essa dessecação pode ser realizada no popular ´´manejo outonal´´, termo este que começou a ser utilizado em meados da década de 80 na região sul do país como uma derivação do manejo entressafra para denominar a aplicação de herbicidas em áreas de pousio após a safra de verão (Jamil et al 2013). Normalmente esse controle ocorria durante a estação do outono nesta região, o que denominou essa modalidade como ´´outonal´´(Bottcher et al., 2022). Entretanto em outras regiões brasileiras, como a exemplo o estado do Mato Grosso do Sul, a época de realizar a aplicação de herbicidas nas entressafras de maneira anterior a semeadura da soja ocorre na estação do inverno, fazendo-se então necessário a correção da nomenclatura de ´´manejo outonal´´ para ´´manejo antecipado´´.

O posicionamento frequente e recorrente da associação de 2,4 D + glifosato, resultou na pressão de seleção de múltiplos biotipos resistentes de *Conyza* spp., tornando ineficiente esse manejo. Essa resistência limitou as opções (já escassas) de herbicidas pós-emergentes na dessecação de *Conyza* spp. em pré-semeadura da cultura da soja, culminando na busca por novas estratégias de posicionamento (Albrecht et al., 2020). Em um primeiro momento, houve a aplicação de produtos auxinicos, de três formas: (1)

Produtos registrados para pastagem, com comprovada eficácia para o controle de plantas daninhas eudicotiledôneas, a exemplo do fluroxypyr e tryclopyr (De Queiroz et al., 2020); (2) Produtos obsoletos que retornaram para o mercado a exemplo das novas formulações do dicamba (Cantu et al., 2021) e (3) Novos produtos como halauxifeno + diclosulan (Krenchinski et al., 2019).

Além dos produtos auxinicos, também se observou o posicionamento de herbicidas registrados para a cultura do milho, a exemplo da atrazina + mesotrione, e mais recentemente o tembotrione + atrazina (Giraldeli et al., 2019). Também tem se testado a mudança de posicionamento de produtos na cultura da soja, alterando aplicações de clorimuron e clorasulan recorrentemente efetuadas na pós-emergência da soja para dessecação pré-semeadura. E se analisado as diferentes associações de 2,4 D e/ou outros produtos no controle de *Conyza spp.* a exemplo de glufosinato de amônio, carfentrazone e saflufenacil. Este esforço por novos posicionamentos de produtos tem como objetivo prolongar os seus efeitos de controle, dificultando o aparecimento de novos biotipos resistente de *Conyza spp.* (Perez et al., 2022; Cesco et al., 2019).

2.2. ANÁLISE FOLIAR COMO ESTRATÉGIA DE AVALIAÇÃO DA EFICÁCIA DE DESSECAÇÃO PRÉ-SEMEADURA

Muitas vezes o controle de *Conyza spp.,* após a colheita do milho, ocorre de forma muito próxima a semeadura da soja, fato que pode resultar em rebrota vegetativa da planta daninha na pós-emergência dessa cultura (Da Silva et al., 2023a). Esse comportamento pode resultar em inúmeros efeitos negativos ao sistema produtivo, pois são escassas as opções de herbicidas posicionados na pós-emergência da soja que sejam efetivos no controle de *Conyza spp.,* essas opções se tornam ainda mais limitadas, quando a aplicação ocorre em avançados estágios fenológicos dessa espécie, a exemplo de plantas com altura superior a 10 cm (Da Silva et al., 2023b).

Por conseguinte, a análise da superfície foliar das plantas de *Conyza spp.* na presença e ausência de herbicidas pode elucidar os resultados inerentes ao controle dessas plantas daninhas (Pedroso et al., 2021). Isso ocorre, pois, a morfologia foliar afeta diretamente a quantidade de herbicida interceptado e retido pela folhagem das plantas daninhas, afetando a absorção (Cantu et al., 2021). O estádio de desenvolvimento vegetativo de *Conyza spp*. também afeta a eficácia do controle químico dessa planta daninha, devido a mudanças na partição de fotoassimilados, alterando a translocação dos herbicidas (Bacin et al., 2023).

Dessa forma, a caracterização foliar pode indicar a maior ou menor suscetibilidade de uma espécie a um determinado herbicida, pois as folhas são o principal órgão envolvidos nesse processo (Alves et al., 2014). As características anatômicas das folhas, como a presença e quantidade de tricomas e estômatos, espessura e composição da camada de cutícula e a presença e natureza das ceras, determinam a facilidade com que os herbicidas serão absorvidos (Inacio et al., 2013). Assim, o conhecimento dessas características foliares são fundamentais para o sucesso de aplicações de herbicidas no controle de *Conyza spp.* Alves et al. (2014), observaram alta densidade tricomática, e grande espessura da cutícula na fase adaxial associado a baixa densidade estomática, representando as principais barreiras à penetração dos herbicidas.

Entretanto e importante correlacionar os efeitos morfológicos da aplicação de herbicidas pós-emergentes com os danos observados na superfície foliar das plantas de *Conyza spp*.,

não apenas em observações visuais subjetivas, mais sim quantitativas, a exemplo da metodologia proposta por Da Silva et al.(2024), na qual os autores quantificaram a intensidade dos danos ocasionados as estruturas morfológicas da anatomia foliar, a exemplo de tricomas, com a aplicação de diferentes herbicidas frequentemente posicionados na dessecação pré-semeadura de soja.

2.3. IMPORTÂNCIA DOS PRÉ-EMERGENTES NA DESSECAÇÃO PRÉ SEMEADURA DA SOJA E CARRYOVER

No manejo antecipado de *Conyza spp.,* é realizado a aplicação de um herbicida com longa capacidade de permanência em solução do solo já que são aplicados em média 30 dias antes da semeadura da soja, desta forma este produto é capaz de deixar um residual longo e controlar futuros fluxos germinativos das plantas daninhas, uma vez que, vão agir no banco de sementes presente na área. Deve se atentar em alguns casos, ser necessário realizar o controle em pós-emergência das plantas que escaparem da ação residual antes da semeadura da soja, mas também associar herbicidas pré-emergentes, viabilizando o controle de fluxos germinativos, redução da densidade de infestação e obtendo plantas em menor estágio fenológico próxima a semeadura da soja (Gonçalves et al., 2018).

Desta forma herbicidas pré-emergentes são produtos capazes de promover o controle de plantas daninhas antes da sua emergência, através do seu residual, resultando em permanência ativa no solo por algum período após sua aplicação, controlando fluxos de emergência (Osterholt et al., 2019). No entanto, alguns aspectos influenciam na dinâmica desses produtos no ambiente, a exemplo: doses utilizadas; características físico-químicas e condições ambientais. A associação desses atributos afetam a absorção, translocação ou metabolismo dos herbicidas, determinando o seu comportamento no solo , eficiência de controle de plantas daninhas e potencial de fitointoxicação em culturas agrícolas.

A persistência de pré-emergentes, e definida como a capacidade de permanência e de preservação da integridade da molécula no ambiente, o qual e direcionado pelas características físico-químicas dos herbicidas (Mehdizadeh et al., 2021). Nesse contexto, o posicionamento de herbicidas no solo, pode resultar em carryover, caso haja atividade residual, entre a aplicação e a semeadura de uma nova cultura de forma subsequente. Esse comportamento e associado a presença de resíduos com atividade biológica em concentração suficiente para provocar injúrias em uma cultura sensível semeada em sucessão e/ou rotação (Francischini et al., 2020).

Logo o planejamento de sistemas de cultivos, pensando em sucessão de culturas, deve ser criterioso direcionando o residual dos herbicidas apenas até o “fechamento” da cultura (Galon et al., 2022). A umidade do solo é chave para persistência de pré-emergentes, evitando o seu carryover, pois contribui para maior atividade microbiana e consequentemente degradação dos herbicidas e processos de hidrólise química. Dessa forma, a quantidade, frequência e a intensidade das chuvas são importantes e impactam diretamente na maior ou menor atividade residual no solo (Rasool et al., 2022; Carvalho et al., 2018).

Por conseguinte, a degradação de herbicidas pré-emergentes, possibilita a transformação e quebra das moléculas, esse processo pode ocorrer de forma biótica ou abiótica, tornando os compostos, na maioria dos casos, em substâncias menos tóxicas que as moléculas originais (Kumar et al., 2021). Dentre as formas de degradação, a microbiológica se destaca como a principal para herbicidas, sendo realizada pelos microrganismos do solo, através de dois

principais processos: i) o metabolismo, em que o agrotóxico serve como fonte de energia e ii) o co-metabolismo, onde os microrganismos se desenvolvem em função de outro substrato, produzindo enzimas que podem modificar a molécula dos agrotóxicos (Singh, 2018). Outro fator importante na persistência são as características físico-químicas da molécula do herbicida, como a constante de equilíbrio de ionização do ácido-base (pKa), o coeficiente de participação octanol-água (Kow), a solubilidade em água (Sw) e a pressão de vapor (PV) (Gonçalves et al., 2018).

Uma opção de manejo antecipado na cultura da soja é a atrazina + mesotrione, pois associa herbicidas com diferentes mecanismos de ação, fotossistema II e inibidor da biossíntese de carotenoides respectivamente (AGROFIT 2024). Mesmo possuindo duas moléculas em sua composição é a atrazina que irá agir como pré-emergente, sendo que, sua absorção pelas plantas daninhas se dá através das folhas, podendo também ser absorvida pelas raízes. Sua translocação é via xilema, sendo facilitada em dias de alta luminosidade após a aplicação (Carvalho et al., 2023). A inibição da fotossíntese ocorre devido a molécula do herbicida bloquear o transporte de elétrons da plastioquinona QA para Qb, que se encontram nas membranas dos tilacóides dos cloroplastos (OLiveira Jr et al., 2021). Esses processos levam a formação de oxigênio tripleto e de radicais livres, que resultam em rompimento de membranas devido a oxidação de proteínas e lipídeos, levando a desidratação das células e consequentemente em clorose e necrose foliar (Kaur et al.,2019).

Já se sabe dos excelentes resultados da atrazina + mesotrione no controle de *Conyza spp.,* na cultura do milho sendo uma opção tanto para pré quanto pôs-emergência da cultura, uma vez que, não apresenta efeitos fitotoxicos quando aplicado nas condições de recomendação adequadas (apresenta seletividade). No entanto para soja, este cenário não é o mesmo, pois os herbicidas presentes nessa associação causam danos quando posicionados em pôs-emergência da cultura ou em intervalos muito curtos entre a aplicação e a semeadura da cultura, devido ao seu residual. Entretanto, isto vem a ser contornado posicionando atrazina + mesotrione pelo menos 30 dias antes da semeadura da soja, sendo registrada na dessecação pré-semeadura nesta cultura, e tornando-se uma opção para o controle de *Conyza* spp., pois proporciona a rotação de princípios ativos, evitando-se assim a pressão de seleção de biotipos resistentes (Matte et al., 2018).

Entretanto nas últimas safras se observou maior restrição hídrica na época de semeadura da soja no país, a exemplo no estado do Mato Grosso do Sul, resultou em atraso na semeadura da soja e do milho, estabelecendo intervalos mais curtos entre o posicionamento de herbicidas na dessecação e a semeadura da soja, necessitando de especial atenção em relação ao residual dessas aplicações, evitando assim efeitos fitotoxicos adversos na cultura. Dessa forma, em situações em que se observa restrição hídrica após a aplicação de herbicidas na dessecação pré-semeadura de soja, pode ocorrer prolongamento do residual de herbicidas, resultando em efeitos fitotoxicos na cultura da soja.

3. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com isso entende-se que a eficácia do manejo de *Conyza spp.* por meio da dessecação pré-semeadura e do uso de herbicidas pré-emergentes é fortemente condicionada pelas variações climáticas. As condições meteorológicas influenciam não apenas a estrutura foliar das plantas daninhas, mas também a ação residual dos herbicidas e a fitotoxicidade nas culturas de soja. A interação entre o ambiente e os produtos químicos é complexa,

exigindo uma análise cuidadosa das condições locais para otimizar o controle de *Conyza spp.* e proteger a cultura da soja. Portanto, é crucial ajustar as estratégias de manejo com base nas condições climáticas específicas, garantindo um posicionamento adequado do pré-emergente, o que poderá maximizar a eficiência dos herbicidas e minimizar os riscos de danos à soja. Este entendimento aprofundado das interações entre herbicidas, plantas daninhas e o ambiente não só é fundamental para o sucesso do controle, mas também para assegurar a produtividade e a sustentabilidade da cultura agrícola em cenários desafiadores.

REFERÊNCIAS

[1] AGROFIT. (2024). Disponível em: http://agrofit.agricultura.gov.br/agrofit_cons/principal_agrofit_cons. Acesso em: 30 Jun. 2024.

[2] ALBRECHT, A. J. P., et al. (2019). Atenção às dessecações e semeadura da soja. ***Revista Campo & Negócios***.

[3] ALBRECHT, A. J. P., et al. (2020). Control of *Conyza spp.* with sequential application of glufosinate in soybean pre-sowing. ***Ciência Rural***, 50, 1-9.

[4] ALBRECHT, L. P., et al. (2021). Glufosinate and diquat in pre-harvest desiccation of soybean at four phenological stages, and their impact on seed quality. ***Chilean Journal of Agricultural Research***, 82(3), 448-456.

[5] ALVES, R. M., et al. (2014). Caracterização da superfície foliar e efeito de saflufenacil sobre as folhas de plantas daninhas. ***Revista Brasileira de Ciências Agrárias***, 9(4), 550-555.

[6] ANVISA (2020). **Mapa cancela registro de produtos técnicos à base de paraquat.** Disponível em: https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/noticias/mapa-cancela-registro-de-produtos-tecnicos-a-base-de-paraquate. Acesso em: 12 jun.2022.

[7] BACCIN, L. C., et al. (2023). Glyphosate-resistant hairy fleabane (*Conyza bonariensis*) exhibits a larger number of trichomes and altered stomatal density relative to the susceptible counterpart. ***Bioscience Journal***, 39, 1981-3163.

[8] BACCIN, L. C. (2020). Identificação, caracterização foliar e fisiologia de *Conyza spp.* resistente a herbicidas.

[9] BOTTCHER, A. A., et al. (2022). Herbicide efficacy in the fall management of *Richardia brasiliensis*, *Commelina benghalensis*, *Conyza sumatrensis*, and *Digitaria insularis*. ***Bioscience Journal***, 38, e38025.

[10] CARVALHO, L. B. (2018). Pre-emergence herbicidal efficiency and uptake of atrazine-loaded zein nanoparticles: A sustainable alternative to weed control. ***Environmental Science****: Nano*, 10(6), 1629-1643.

[11] CARVALHO, L. D. (2023). *Plantas Daninhas: Herbicidas*. Lages: Autor. 62 p.

[12] CABI. (2018). *Conyza bonariensis (hairy fleabane)*. Disponível em: https://www.cabi.org/isc/datasheet/15250. Acesso em: 10 Ago. 2023.

[13] CANTU, R. M., et al. (2021). Herbicide alternative for *Conyza sumatrensis* control in pre-planting in no-till soybeans. ***Advances in Weed Science***, 39, e2021000025.

[14] CESCO, V. J. S., et al. (2019). Management of resistant *Conyza spp.* during soybean pre-sowing. ***Planta Daninha***, 37.

[15] CHAHAL, P. S., et al. (2019). Basis of atrazine and mesotrione synergism for controlling atrazine- and HPPD inhibitor-resistant palmer amaranth. ***Agronomy Journal***, 111(6), 3265-3273.

[16] DA SILVA, L. C., et al. (2023). Simultaneous extraction and analysis of apple pomace by gradient pressurized liquid extraction coupled in-line with solid-phase extraction and on-line with HPLC. ***Food Chemistry***, 407, 135117.

[17] DA SILVA, P. V. D., et al. (2023). Selectivity of post-emergence herbicides in soybean and their efficacy on the control of *Conyza spp.* ***Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental***, 27, 600-

609.

[18] DA SILVA, P. V., et al. (2024). Pre-harvest desiccation strategies of soybean culture: A scenario without paraquat. ***Journal of Environmental Science and Health Part B: Pesticides, Food Contaminants and Agricultural Wastes***, 57(6).

[19] DE QUEIROZ, A. R. S., et al. (2020). Rapid necrosis: A novel plant resistance mechanism to 2, 4-D. ***Weed Science***, 68(1), 6-18.

[20] DONG, S. et al. Um estudo sobre as respostas da soja ao estresse hídrico e reidratação. **Revista saudita de ciências biológicas** , v. 26, n. 8, pág. 2006-2017, 2019.

[21] FERRAZ, W. J., et al. (2020). Aplicação de diferentes herbicidas para o controle de *Conyza spp.* resistentes ao glifosato. ***Revista Cultivando o Saber***, 13, 86-93.

[22] FAMASUL. (2023). *Boletim Casa Rural*. Disponível em: https://portal.sistemafamasul.com.br/boletimcasa-rural-agricultura. Acesso em: 02 Ago. 2023.

[23] FAMASUL. (2024). Disponível em: https://portal.sistemafamasul.com.br/artigos. Acesso em: 25 Jun. 2024.

[24] FRANCESCHINI, A., et al. (2020). Carryover of herbicides used in cotton stalk control on soybean cultivated in succession. ***Planta Daninha***, 38.

[25] GALON, L., et al. (2022). Alexandergrass interference periods on soybean. ***Communications***, 12, 060-066.

[26] GAZOLA, J., Zandoná, R. R., Facco Barbieri, G., Schneider, T., & Agostinetto, D. (2022). Influência da estatura da *Conyza spp.* na eficiência de controle por herbicidas auxínicos. ***Agrarian***, 15(55), e14568.

[27] GIRALDES, A. L., et al. (2019). Efficacy and selectivity of alternative herbicides to glyphosate on maize. ***Revista Ceres***, 66, 279-286.

[28] GONÇALVES, G., et al. (2018). Periods of weed interference on orange tree crops. ***Planta Daninha***, 36, e018179810.

[29] GOVERNA, P., et al. (2022). Pesquisa sobre os avanços recentes na inibição da 4-hidroxifenilpiruvato dioxigenase (HPPD) por derivados de dicetona e tricetona e compostos congêneres: Análise estrutural de complexos HPPD/inibidor e considerações sobre a relação estrutura-atividade. ***Journal of Agricultural and Food Chemistry***, 70(23), 6963-6981.

[30] HEAP. **The international survey of herbicide resistants weeds**. 2023. Online. Disponível em: www.weedscience.org. Acesso em: 30 julho 2023.

[31] INACIO, E. M., & Monquero, P. A. (2013). Controle químico e caracterização da superfície foliar de *Conyza bonariensis* e *C. canadensis* (Asteraceae). ***Revista Brasileira de Herbicidas***, 12(3), 220-231.

[32] JAMIL, C., et al. (2013). Manejo entressafras. In C. Jamil, S. de O. Rubem, & A. M. de O. Antonio (Eds.), *Buva: Fundamentos e recomendações para manejo* (pp. 1-122). **Ominipax**.

[33] KAUR, R., et al. (2019). Pesticides classification and its impact on the environment. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 8(3), 1889-1897.

[34] Krenchinski, F. H., et al. (2019). Halauxifen-methyl + diclosulam: New option to control *Conyza spp.* prior soybean sowing. ***Planta Daninha***, 37, 1-10.

[35] KUMAR, P., et al. (2021). Exploring microbes as bioremediation tools for the degradation of pesticides. In *Advanced oxidation processes for effluent treatment plants* (pp. 51-67). **Elsevier**.

[36] LUCIO, F. R., et al. (2019). Dispersal and frequency of glyphosate-resistant and glyphosate-tolerant weeds in soybean-producing edaphoclimatic microregions in Brazil. ***Weed Technology***, Fayetteville, 33(1), 217-231.

[37] MATTE, W. D., et al. (2018). Eficácia de [atrazine + mesotrione] para o controle de plantas daninhas na cultura do milho. ***Revista Brasileira de Herbicidas*****,** 17(2), 587-1-15.]

[38] MEHDIZADEH, M., et al. (2021). Herbicide residues in agroecosystems: Fate, detection, and effect on non-target plants. ***Reviews in Agricultural Science*****,** 9, 157-167.

[39] OLIVEIRA, R. S. de. Jr., et al. (2022). Potential herbicides for weed management in cotton. ***Revista***

Brasileira de Herbicidas, 21(2), 111-122.

[40] OSTERHOLT, M. J.; Webster, E. P.; Blouin, D. C. ; McKnight, B. M. Overlay of residual herbicides in rice for improved weed management**. Weed Technology**, v. 33, p. 426-430, 2019.

[41] PETERSON, M. A., et al. (2016). Efficacy of pyroxasulfone for the control of *Conyza bonariensis*. ***Weed Science***, 64(4), 581-585.

[42] RANGANI, J. R., et al. (2022). Effect of post-emergence herbicides on *Conyza canadensis* in cotton. ***International Journal of Agricultural Science and Research***, 12(2), 147-152.

[43] ROCCA, J. R. de, et al. (2023). Eficácia de inibidores de HPPD na absorção, translocação e no controle de *Conyza spp.* ***Planta Daninha***, 41.

[44] SANTOS, T. R., et al. (2022). Efficacy of pre-emergent herbicides in controlling *Conyza spp.* in soybean. ***Planta Daninha***, 40, e021225473.

[45] SILVA, M. G. da, et al. (2020). Post-emergence herbicides and their influence on the control of resistant *Conyza spp.* in soybean. ***Revista Brasileira de Ciências Agrárias***, 15(3), 25-36.

[46] SILVA, P. M., et al. (2023). *Conyza bonariensis*: Resistance mechanisms and their control in the field. ***Weed Research***, 63(5), 123-135.

[47] TAVARES, F. R., et al. (2020). Phytotoxicity of herbicides applied pre-emergence on glyphosate-resistant soybean cultivars. ***Revista Brasileira de Herbicidas***, 19(1), 70-77.

[48] VERAS, R. R., et al. (2023). Impact of different herbicide programs on weed control and soybean yield in conventional and transgenic systems. ***Journal of Agricultural and Food Chemistry***, 71(20), 9483-9491.

Capítulo 10

Perspectivas e uso de associações entre herbicidas inibidores da ACCase e latifolicidas na cultura da soja

Lucas Maraus Marostica
Paulo Vinicius da Silva
Isabela Tognon Pereira
João Pedro Assis Ozório
Oscar Xavier Zanchet
Gabriel Pereira Silva
Estefani Kariane Oliveira
Fabio Eduardo Wagner

Resumo: A soja (*Glycine Max* L.) é uma das principais culturas agrícolas do Brasil, com grande impacto econômico e histórico. Desde a década de 1960, a soja passou a ser cultivada em larga escala, especialmente na região Sul, tornando-se essencial tanto para a alimentação humana e animal quanto para a produção de óleo e adubo verde. No ciclo 2023/2024, o Brasil aumentou sua área destinada ao cultivo de soja, mas a produção teve uma queda devido a fatores climáticos, com uma redução na produtividade média de 8,7%. A soja representa uma parte significativa do PIB agrícola, gerando empregos e movimentando grandes volumes financeiros. Porém, para alcançar altos rendimentos, é necessário o controle de plantas daninhas, que competem com a cultura por recursos essenciais, prejudicando seu desenvolvimento e rendimento. As plantas daninhas são um desafio constante no cultivo da soja, pois afetam a germinação e o crescimento da cultura, diminuindo a qualidade e a quantidade da produção. Para um controle eficiente, é necessário conhecer as espécies de plantas daninhas e suas dinâmicas de crescimento, uma vez que elas podem competir com a soja por luz, água e nutrientes. O principal método de controle é o uso de herbicidas, que podem ser aplicados de várias formas, como no pré-plantio, pré-emergência ou pós-emergência. A adoção do controle químico é amplamente utilizada devido à variedade de produtos no mercado e à eficiência no controle, mas a seletividade dos herbicidas em relação à soja é crucial. Entretanto, o uso excessivo e inadequado de herbicidas tem gerado resistência em diversas espécies de plantas daninhas, o que compromete a eficácia do controle. No Brasil, já existem vários casos de resistência, como nas espécies Conyza spp. e Digitaria insularis, que afetam grandes áreas de cultivo. O desenvolvimento de resistência é um problema crescente, especialmente devido ao uso contínuo do glifosato. Além disso, as características dessas plantas, como alta produção de sementes e dispersão pelo vento, dificultam ainda mais o manejo. Para lidar com a resistência, as estratégias de controle incluem a utilização de associações de herbicidas com diferentes mecanismos de ação, como os inibidores da ACCase (responsáveis pela inibição de lipídios nas plantas). A combinação de herbicidas de ação diferente pode aumentar a eficácia e minimizar o risco de resistência, embora algumas associações possam apresentar antagonismo, reduzindo a eficiência do controle. Nesse contexto, a aplicação sequencial de herbicidas tem sido uma alternativa viável. A indústria tem investido em inovações, desenvolvendo formulações de herbicidas que combinam múltiplos mecanismos de ação, a fim de melhorar o controle das plantas daninhas e reduzir os efeitos adversos do antagonismo. O futuro do cultivo de soja no Brasil depende de um manejo sustentável, que inclua práticas integradas e o desenvolvimento de novas tecnologias para garantir a produtividade e a competitividade da cultura.

1. PANORAMA DA CULTURA DA SOJA BRASIL

A soja (*Glycine Max* L.) é uma oleaginosa pertencente a família Fabaceae, essa cultura, é responsável por proporcionar mudanças históricas no sistema produtivo agrícola do Brasil desde a década de 60, que foi o período que a soja começou a posicionada na sucessão soja/trigo e passou a ser produzida em larga escala no país, principalmente na região sul (Jardine; Barros, 2022). A cultura se tornou de grande importância econômica para o país quando foi observado que ela podia ser empregada para diversas finalidades, como a sua utilização para a alimentação humana quanto a alimentação animal e ainda como adubo verde e forrageiro, devido aos seus altos teores de proteínas e óleo vegetal. Os quais permitem também a produção de óleo e diversos produtos derivados (Silva *et al.,* 2022).

No Brasil, durante a safra 2023/2024, destinou-se cerca 46.029,8 mil/ha para a produção de soja, o que é 4,4% maior que a área destinada a produção de soja de 2022/2023. Mesmo com o aumento da área, a produção apresentou queda de 4,7%, com uma produção total de 147.382,0 mil toneladas. Afetada por fatores climáticas instáveis durante a safra, a produtividade média de pais foi de 3.202 kg/ha, com queda de 8,7% em relação a safra passada (Conab, 2024).

Anualmente, o seu comércio movimenta quantidades significativas de dólares, e devido a esse fator, existe constante busca por inovações para favorecer seu sistema de produção através do maior rendimento dos seus grãos (Silva *et al.,* 2022). Nesse contexto, um dos principais enfoques do manejo, se tem as plantas daninhas, que vem a disputar com a cultura de interesse por luz, nutriente e água. Com a presença de plantas daninhas presentes, há uma competição por esses recursos, dificultando a cultura de expressar seu total potencial produtivo *(Singh et al*., 2022).

De acordo com dados do Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada (CEPEA) da ESALQ-USP, o PIB proveniente da cadeia de produção da soja cresceu 21% em 2023 em comparação ao ano anterior. Em 2022, esse setor representava 5,9% do PIB nacional e 23,2% do PIB do agronegócio brasileiro. Além disso, o mercado de trabalho também foi impactado positivamente, com a ocupação na cadeia produtiva da soja alcançando 2,32 milhões de pessoas em 2023, um aumento de 10,74% em relação a 2022 (Cepea, 2023; Embrapa, 2023).

2. PLANTAS DANINHAS E SUA INTERFERÊNCIA NA CULTURA DA SOJA

No decorrer do ciclo da cultura, a mesma pode se encontrar exposta a competição com plantas daninhas, que por sua vez, podem vir a prejudicar tanto a germinação quanto o desenvolvimento da cultura por meio da competição (Franceschetti *et al*., 2019). A convivência da cultura com plantas daninhas pode ocasionar em mudanças nas características morfológicas e no crescimento das plantas, podendo culminar com a redução do rendimento de grãos da cultura (Coelho *et al*., 2019). Além da diminuição quantitativa da produção, esta pode ser também qualitativa, através da depreciação e contaminação com sementes e resíduos de plantas daninhas.

Nesse contexto, torna-se fundamental ter o conhecimento do histórico de incidência de espécies de plantas daninhas na área a ser cultivada, além de conhecer sua botânica, uma vez que essa informação permite um manejo mais eficiente no sistema produtivo ao realiza-lo enfocado na dinâmica de crescimento e disseminação das populações infestantes (Silva *et al.,* 2018). Todavia, mesmo plantas daninhas de famílias diferentes

podem infestar nichos ecológicos, e consequentemente sistemas de produção semelhantes, ou seja, podem competir com a mesma cultura por recursos como nutrientes e água (Fortes *et al.,* 2017).

Dessa forma, a presença de espécies de plantas daninhas em uma lavoura agrícola exige a adoção de métodos de controle (Vilà *et al*., 2021), o que tem ocasionado na busca constante de inovações que possibilitem o aumento da produtividade por empresas de diferentes segmentos (Silva *et. al.,* 2021).

Dentre os métodos de manejo disponíveis, o principal meio de controle dessas plantas daninhas na cultura da soja se dá através do controle químico, que consiste na utilização de herbicidas que podem ser seletivos ou não a cultura da soja além da possibilidade de serem aplicados no manejo pré-semeadura, em pré plantio incorporado (PPI), em pré emergência (Pré) da cultura e das plantas daninhas e em pós emergência (Pós) da cultura e das plantas daninhas (Rossi *et al*., 2018).

A maior adoção do controle químico em comparação com os demais métodos se dá por fatores como: disponibilidade de uma variedade de produtos no mercado, eficiência desses produtos mesmo em infestações densas, redução da dependência de mão de obra e controle seletivo (Kanatas *et al.,* 2020). Entretanto, na aplicação de herbicidas se busca a seletividade nas culturas de interesse, sendo assim quanto menor for o efeito tóxico na cultura semeada e maior efeito de controle da planta daninha mais seletivo será o herbicida (Parwada *et al.,* 2023).

2.1. RESISTÊNCIA A HERBICIDAS

Apesar dos benefícios, o uso errôneo de herbicidas pode levar à seleção de populações resistentes a um ou mais ingredientes ativos, as quais escapam ao controle e atingem grandes níveis de infestação em campos de produção (Beckie, 2020). Até o presente momento, há 509 casos confirmados de resistência a herbicidas em plantas daninhas no mundo, abrangendo 266 espécies (153 eudicotiledôneas e 113 monocotiledôneas) em 71 países (Heap, 2024). No Brasil, há 53 casos confirmados de resistência, sendo que o primeiro caso de resistência reportado no Brasil foi em relação à espécie *Bidens pilosa* em São Gabriel do Oeste-MS (Heap, 2024). Levantamento recente determinou que estes biótipos resistentes se encontram disseminados em importantes regiões produtoras nacionais, com grande potencial de interferência na produtividade de diversas culturas (Adegas *et al*., 2017).

Nesse contexto, entre as plantas daninhas de maior importância como infestantes no sistema de produção agrícola na região de Dourados - Mato Grosso do Sul está inserida a *Conyza spp.* (buva) e *Digitaria insularis* (Capim amargoso) (Lúcio *et al*., 2019). Além do mais, a espécie *Conyza spp*., apresenta biotipos resistentes ao glifosato, 2,4D, diuron, paraquat e saflufenacil (Heap, 2024). Em relação à espécie *Digitaria insularis,* há reportes de biótipos resistentes aos herbicidas: glifosato, haloxifope-p-metílicoe-P-metílico e fenoxaprope-P-etílico (Heap, 2024).

Em relação a essas espécies, em um cenário regional, no sul do Mato Grosso do Sul, o último relato de biótipo resistente no Brasil, foi de *Digitaria insularis* em relação aos mecanismos de ação ACCase e EPSPs (Heap, 2024). Segundo Albrecht & Albrecht (2021), já existe no sul do estado a presença de biótipos resistentes de *D. insularis* aos herbicidas haloxyfop e cletodim (inibidores da ACCAse) e glifosato (EPSPS). Ainda, também foram observados biótipos resistentes de *Conyza spp*. resistentes aos herbicidas glifosato

(EPSPS) e clorimuron (ALS), 2,4 D (auxínico), mostrando um cenário de resistência múltipla com uma maior frequência desses biótipos constatada no sul do estado (Albrecht & Albrecht, 2021).

Em relação a essas espécies, o gênero *Conyza spp*., compreende mais de 60 espécies, pertencem à família *Asteraceae*, e apresentam ciclo de vida anual. São herbáceas, com poucas ramificações, mas com muitas folhas e alta capacidade de proliferar. (HRAC, 2021). Esse gênero se destaca pela alta infestação, proveniente da sua exímia capacidade na produção de sementes, podendo chegar a até 200.000 sementes em uma única planta. (HRAC, 2021). As sementes apresentam tamanho diminuto e seguem o padrão de muitas espécies anemocóricas, sendo conhecidas por possuir aquênios que medem entre 2 e 3 e papus, o que possibilita sua dispersão pelo vento, alcançando longas distâncias (HRAC, 2021).

Atualmente, o complexo das buvas (*C. sumatrensis; C. bonariensise C. canadensis*) infestam cerca de 11,8 milhões hectares no Brasil, com ocorrência em todos os estados brasileiros (Silva *et al*., 2021). O seu manejo adequado deve ocorrer quando as plantas estão com no máximo 15cm, pois se competirem com algumas culturas, a exemplo da soja, pode resultar em redução de produtividade em até 40% (Mendes; Da Silva, 2022). Em locais onde o gênero *Conyza spp*., apresenta estádios de desenvolvimento mais avançados, ou em áreas em que essas plantas não foram controladas em uma única aplicação de herbicida, é indicado a realização de aplicações sequenciais (Da Silva *et al.,* 2021).

O Brasil é o país que apresenta a maior gama de espécies do gênero *Digitaria spp*., sendo constatada a presença de 26 espécies nativas e de 12 exóticas. O capim-amargoso (*Digitaria insularis* (L.) Fedde) é uma espécie nativa de regiões tropicais e subtropicais da América, onde é frequentemente encontrado em pastagens, lavouras e em áreas urbanas, além de ter como características importantes o desenvolvimento rápido e a alta competição com muitas culturas de interesse (Silva, 2020).

Digitaria insularis (L.) Fedde é pertencente à família *Poaceae*, sendo caracterizada como uma planta perene, herbácea, cespitosa e formando pequenas touceiras. Suas folhas são ligeiramente ásperas e sua reprodução se dá por sementes e curtos rizomas (Lorenzi, 2014). As sementes desta espécie são revestidas por muitos pelos, que facilitam a dispersão a longas distâncias, aliado ao grande percentual germinativo, o que permite que essa planta se dissemine com facilidade (Kissmann e Groth, 1997).

Sua capacidade de germinar, crescer e se desenvolver se dá praticamente o ano inteiro. Uma vez estabelecida, a formação de rizomas faz com que o controle desta planta daninha se torne um desafio (Gemelli *et al.,* 2012). Em relação ao reporte de biótipos resistentes, foram encontradas populações resistentes a glifosato, haloxifope-p-metílico e fenoxaprope no Brasil, e por isso, *Digitaria insularis* tem ganhado destaque devido a rápida dispersão e dificuldade no seu controle (Lopez-Ovejero *et al.,* 2017; Heap, 2024).

Existem diversos casos na literatura apresentando a eficácia dos herbicidas ACCase para o controle de *Digitaria insularis* em estádios iniciais como o perfilhamento (Palharani *et al.*, 2023). Entretanto, para os estádios mais avançados de desenvolvimento, como o florescimento, faz-se necessário o uso de aplicações sequenciais para o controle desta espécie, e/ou associações de produtos (Anunciato *et al*., 2021). Para dessecação de plantas adultas de *Digitaria insularis* em pré-semeadura, o glifosato deve ser associado a herbicidas inibidores da ACCase, intercalados por uma aplicação de produto de contato ou novamente por outro produto inibidor da ACCase (Palharani *et al.*, 2023).

Os herbicidas inibidores da enzima Acetil CoA carboxilase (ACCase) são de aplicação em pós-emergência das plantas daninhas, sendo eficazes para controle de espécies gramíneas e seletivos para espécies dicotiledôneas. Esses herbicidas atuam no cloroplasto das células, inibindo a enzima Acetil-CoA carboxilase e interrompendo a síntese de lipídeos nas plantas. Os sintomas característicos são: clorose nas folhas recém formadas, folhas mais desenvolvidas com coloração arroxeada ou avermelhada e interrupção do crescimento das plantas (Rajak *et al*., 2023).

O glifosato é considerado como o herbicida de maior importância mundial em virtude da sua alta utilização. (Milesi *et al*., 2021). Porém, em virtude do seu uso contínuo, biótipos de plantas daninhas foram selecionados através da pressão de seleção. No Brasil, existem vários casos de resistência, como as espécies de *Conyza spp*., e *Digitaria insularis* (Heap, 2024). Na tentativa de solucionar este problema, associações de herbicidas convencionais são empregadas visando obter uma alternativa para controle de plantas daninhas (Muller *et al.,* 2023).

2.2. FLORA MISTA E ASSOCIAÇÕES DE MECANISMOS DE AÇÃO

No cenário atual, existem áreas cultiváveis que apresentam uma flora mista, ou seja, áreas com emergência de *Digitaria insularis* e *Conyza spp*.. Assim tendo a necessidade de associações de herbicidas inibidores da ACCase com glifosato como também inibidores da ACCase associados a latifolicidas (Nunes *et al*., 2021). Entretanto, trabalhos relataram que a mistura de latifolicidas e mecanismo de ação inibidores da ACCase apresentam antagonismo, resultando em perda de eficácia no controle de plantas daninhas da família *poaceae*, havendo a necessidade de realização de duas operações separadas com intervalo entre elas (Leal *et al*., 2019). Segundo Barbieri *et al.,* (2022), quando a resposta da combinação de herbicidas é maior que a esperada, a mistura é sinérgica; quando é menor que a esperada, é antagônica e quando não apresenta mudança significativa é aditiva. Buscando fugir das respostas antagônicas de associação de herbicidas, a aplicação sequencial surge como alternativa de controle. A realização de duas ou mais operações é uma opção para minimizar o impacto negativo do antagonismo (Merritt *et al.,* 2020).

A associação de produtos na mesma calda proporciona uma vantagem operacional em relação a aplicações sequenciais (Gandini *et al.,* 2020). As associações entres diferentes mecanismos de ação podem ser maneiras de racionalizar as aplicações, com o objetivo de explorar a complementaridade dos efeitos de controle, reduzir o tempo gasto, redução de custos e principalmente, aumentar a eficácia do controle na comunidade infestante (Yukhymuk *et al.,* 2022). Além de dificultar o desenvolvimento de biótipos de plantas daninhas resistentes e um controle de maior número de espécies de plantas daninhas.

Nos últimos anos, empresas trabalharam para colocar no mercado produtos formulados já com associação de herbicidas latifolicidas com inibidores da ACCase, fazendo com que não haja perdas por antagonismo na mistura. A associação de cletodim + fluroxipir-meptílico da Adama, é um dos produtos que não se tem antagonismo (Agrofit, 2024). Outra forma, é a formulação de moléculas que venham a permitir a associação entre os dois grupos dos herbicidas.Como o diclosulam+ halauxifeno-metílico, que foi lançado pela Corteva, tem em sua bula a recomendação para controle de *Conyza spp.* e *Digitaria insularis* na pré-emergencia das plantas daninhas. E ainda permite a associação do produto com a molécula do haloxifop-p-metil junto ou em sequencial, possibilitando o controle em pós emergência sem perdas por antagonismo (Agrofit, 2024).

3. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O controle químico por herbicidas é o método predominante devido à sua eficácia e disponibilidade, mas o uso inadequado tem levado ao desenvolvimento de resistência em plantas daninhas, tornando o manejo ainda mais desafiador. Como resultado, técnicas como a aplicação sequencial e o uso de combinações de herbicidas latifolicidas com inibidores da ACCase vem se tornando uma ferramenta importante. Entretanto, podem gerar antagonismo, para evitar antagonismo entre diferentes produtos e melhorar a eficácia, a indústria tem respondido com inovações, introduzindo formulações que combinam diferentes mecanismos de ação, visando maximizar o controle e reduzindo o antagonismo.

O desenvolvimento e a aplicação de tecnologias eficazes e o manejo sustentável de herbicidas são fundamentais para a manutenção e ampliação da produtividade da soja no Brasil, especialmente diante dos desafios impostos por espécies resistentes. A adoção de práticas de manejo integradas e o investimento em pesquisa são estratégicos para o futuro sustentável dessa cultura.

REFERÊNCIAS

[1] ADEGAS, F. S. *et al.* Impacto econômico da resistência do plantas daninhas a herbicidas no Brasil. **Embrapa Soja**, Circular Técnica, nº 132. Londrina, Brasil: Embrapa Soja, p.12, 2017.

[2] AGROFIT, 2023. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Agrofit**, Consulta aberta. Acesso em 04 de novembro de 2024.

[3] ALBRECHT, A.J.P. Albrecht, L.P. **Mapeamento do capim-amargoso (*Digitaria insularis*) com resistência a herbicidas**. Vol. 0002/Num. 0005. 15 de junho de 2021a.

[4] ALBRECHT, A.J.P. Albrecht, L.P. **Mapeamento da buva (*Conyza spp.*) com resistência a herbicidas.** Vol. 0002. Núm. 0006. 30 de junho de 2021b

[5] ANUNCIATO, V., BIANCHI, L., GOMES, G., VELINI, E., DUKE, S., & CARBONARI, C. Efeito de baixas doses de glifosato na floração e germinação de sementes de *Digitaria insularis* resistentes e suscetíveis ao glifosato. **Ciência do manejo de pragas**. https://doi.org/10.1002/ps.6740. 2021.

[6] BARBIERI, G. F., YOUNG, B. G., DAYAN, F. E., STREIBIG, J. C., TAKANO, H. K., MEROTTO JR, A., & AVILA, L. A. Herbicide mixtures: interactions and modeling. **Advances in Weed Science**, 40(spe 1), e020220051. 2022.

[7] BECKIE, H. J. Resistência a herbicidas em plantas. **Plantas.** 2020; 9(4):435. https://doi.org/10.3390/plants9040435

[8] COELHO, A. T. C. P. **Interferência de buva e capim-amargoso no crescimento, desenvolvimento e acúmulo de nutrientes em plantas de soja**. 2019.

[9] CONAB - COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento da Safra Brasileira de Grãos, Brasília,** DF, v. 11, safra 2023/24, n. 12 décimo segundo levantamento, setembro 2024

[10] FORTE, C. T. *et al*. Habilidade competitiva de cultivares de soja transgênica convivendo com plantas daninhas. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 12, n. 2, p. 185-193, 2017.

[11] FRANCESCHETTI, M. B. *et al*. Interference of Urochloa plantaginea on morphophysiology and yield components of black beans. **Journal of Agricultural Science**, v.11, n.9, p.272-280, 2019.

[12] GANDINI, E. M. M., COSTA, E. S. P., DOS SANTOS, J. B., SOARES, M. A., BARROSO, G. M., CORRÊA, J. M., ... & ZANUNCIO, J. C. Compatibility of pesticides and/or fertilizers in tank mixtures. ***Journal of Cleaner Production***, *268*, 122152. 2020.

[13] JARDINE, J. G., BARROS, T. D. Árvore do Conhecimento – Soja**. Agência Embrapa de Informação Tecnológica** – AGEITEC, 2022. Disponível em: https://www.embrapa.br/agencia- de-informacao-tecnologica/cultivos/soja/preproducao/socioeconomia. Acesso em: 18 mar. 2023.

[14] HEAP, I. **The International Herbicide-Resistant Weed DATabase**. Disponível em:<www.weedscience.org>. Acesso em: 04 de novembro de 2024.

[15] LEAL, J. *et al*. Interaction between ACCase inhibitors and broadleaf herbicides to the control of Italian ryegrass**. Journal of Research in Weed Science**, v. 4, n. 4, p. 270-279.2019

[16] LUCIO, F. R. *et al*. Dispersal and frequency of glyphosate-resistant and glyphosate-tolerant weeds in soybean-producing edaphoclimatic microregions in Brazil. **Weed Technology**, v. 33, n. 1, p. 217-231, 2019.

[17] MENDES, K. F., DA SILVA, A. A. **Plantas daninhas: biologia e manejo**. Oficina de Textos, 2022.

[18] MERRITT, L. H., FERGUSON, J. C., BROWN-JOHNSON, A. E., REYNOLDS, D. B., TSENG, T. M., & LOWE, J. W. Reduced herbicide antagonism of grass weed control through spray application technique. **Agronomy**, *10*(8), 1131. 2020.

[19] MULLER, J. G., SILVA, J. V. S. D., AMARANTE, A. D., GOEBEL, J. G., & AGOSTINETTO, D. **Métodos de controle de amaranthus spp. com resistência múltipla a herbicidas na cultura da soja**. 2023.

[20] MILESI, M., LORENZ, V., DURANDO, M., ROSSETTI, M., & VARAYOUND, J. Herbicida glifosato: resultados reprodutivos e efeitos multigeracionais. **Fronteiras em Endocrinologia**, 12. https://doi.org/10.3389/fendo.2021.672532. 2021.

[21] NUNES, J. J. *et al.* Eficácia de glifosato + haloxifope-p-metílicoe-p-metílico em associação com outros herbicidas no controle de capim-amargoso. **Científica**, v. 49, n. 2, p. 67-74, 2021

[22] PALHARANI, W., MAUAD, M., SILVA, P., MEDEIROS, E., SCHEDENFFELDT, B., & MEDEIROS, C. Manejo de *Digitaria insularis* na dessecação pré-semeadura da soja por herbicidas alternativos ACCase e seu impacto no carryover da soja. **Jornal de Ciência e Saúde Ambiental**, Parte B, 58, 110 - 119. https://doi.org/10.1080/03601234.2023.2172279. 2023.

[23] PARWADA, C., CHIPOMHO, J., & GWATIDZO, V. Compreendendo os mecanismos de seletividade de herbicidas em agroecossistemas: uma revisão. **Pesquisa Avançada em Química Biologia**. https://doi.org/10.37256/acbr.2120232351. 2023.

[24] ROSSI, C. V. S. *et al*. Comparação entre métodos químicos de controle de buva com início de dessecação em período seco ou úmido**. Revista Brasileira de Herbicidas**, v. 17, n. 3, p. 613-1-9), 2018.

[25] SILVA, A. C. A. **Alternativas para o controle químico de biótipos de plantas daninhas resistentes a herbicidas nas culturas de soja, milho e algodão**. 2020.

[26] SILVA, F., BORÉM, A., SEDIYAMA, T., & CÂMARA, G. Soja: do plantio à colheita. **Oficina de Textos**, 2022.

[27] SILVA, P. V. DA *et al.* Estratégias de controle de Conyza spp. em pré-plantio da soja: Aplicações únicas ou sequenciais? **Research, Society and Development**, v. 10, n. 8, p. e10310816995–e10310816995, 7 jul. 2021.

[28] Valencia-Gredilla, F., Supiciche, M., Chantre, G., Recasens, J., & Royo-Esnal, A. (2019). Comportamento germinativo de *Conyza bonariensis* a temperaturas constantes e alternadas em diferentes populações. **Anais de Biologia Aplicada**, 176, 36-46. https://doi.org/10.1111/aab.12556.

[29] VILÀ, M., BEAURY, E., BLUMENTHAL, D., BRADLEY, B., EARLY, R., LAGINHAS, B., TRILLO, A., DUKES, J., SORTE, C., & IBÁÑEZ, I. Compreender os impactos combinados das ervas daninhas e das mudanças climáticas nas plantações. **Cartas de Pesquisa Ambiental**, 16. https://doi.org/10.1088/1748-9326/abe14b. 2021.

[30] YUKHYMUK, V. V., RADCHENKO, M. P., SYTNIK, S. K., & MORDERER, Y. Y. Effects of interaction and effectiveness of weed control when using tank mixtures of herbicides in maize crops. **Regulatory Mechanisms in Biosystems**, *13*(2), 114-120. 2022.

Capítulo 11

Sustentabilidade de uma Unidade da Agricultura Familiar no município de Colíder - MT

Steffany Santos Souto da Silva
Cleberton Correia Santos
José Otavio dos Santos Mantovani
Edson Mantovani
Henrique Lunardi dos Santos

Resumo: Objetivamos por meio desse trabalho analisar a sustentabilidade de uma unidade familiar localizada no município de Colíder-MT, buscando compreender os principais desafios e oportunidades enfrentados na propriedade em seus aspectos sociais, agroambientais e econômicos. A metodologia utilizada para tal avaliação se deu pela ferramenta *Marco de Evolución de Sistemas de Manejo de Sustentabilidade* (MESMIS). A caracterização da área e seleção de pontos críticos se deu através de pesquisas bibliográficas juntamente com a levantamento de dados via questionário semiestruturado, aplicado com os moradores durante as entrevistas realizadas durante as visitas na propriedade por meio do diagnóstico rural participativo. A agricultura e a pecuária são as atividades desenvolvidas na unidade familiar; para a subsistência da família e rentabilidade dos mesmos. A propriedade apresenta diversos pontos robustos em seus aspectos socioambientais e econômicos, dentre eles: práticas sustentáveis adquirida pelos membros familiares em suas atividades como a rotação de cultura, implantação de plantas de cobertura, análise química do solo; presença de área de reserva legal com a efetivação da atividade de apicultura dentro da reserva; comercialização dos produtos e mão de obra familiar. No agroecossistema analisado ainda foram identificadas algumas fragilidades, dentre eles: assistência técnica deficitária; ausência de mulheres em associação; área de pastagem com degradação e dificuldades no acesso ao crédito rural. O estudo contribui para compreensão da realidade da agricultura familiar em Colíder baseado na unidade familiar conhecida, destacando a importância da implementação de práticas que promovam a sustentabilidade. Além disso, a unidade familiar apresenta diversos pontos positivos rumo a sustentabilidade.

Palavras-chave: agroecossistema, assistência técnica, dimensão socioeconômica, MESMIS.

1. INTRODUÇÃO

O desenvolvimento sustentável é um tema complexo, pois engloba diversos pilares, e precisa ser compreendido como a capacidade de a geração atual atender com as suas necessidades sem comprometer a geração futura de atender com as suas. Essa preocupação com os objetivos do desenvolvimento sustentável (ODS) tem aumentado frente aos diversos impactos no decorrer das mudanças climáticas globais e ações antrópicas intensivas sobre os recursos naturas renováveis.

A sustentabilidade deve estar pautada no modelo *Triple Bottom Line* (TBL) ou tripé da sustentabilidade e deve ser analisada mediante três dimensões: econômico, ambiental e social, sendo estes três pilares entrelaçados e indissociáveis entre si, que devem ser analisados em conjunto e de modo equitativo. Ao se tratar de ações antrópicas, busca-se compreender e adotar práticas sustentáveis no manejo dos agroecossistemas, com a finalidade de obter altas produtividades aliando com a manutenção dos recursos naturais renováveis.

A busca pela sustentabilidade nas atividades agrícolas é uma preocupação global em que as dimensões ambientais, sociais e econômicas estão diretamente interligadas. O *Marco de Evolución de Sistemas de Manejo de Sustentabilidad* (MESMIS) é uma ferramenta metodológica utilizada para avaliar a sustentabilidade de sistemas, tendo como base as dimensões econômica, social e ambiental, sendo utilizado no mundo inteiro, principalmente quando se trata de agroecossistema de agricultura familiar (Barbosa *et al.* 2022).

No âmbito geral, a agricultura familiar desempenha papel fundamental na produção de alimentos, preservação do meio ambiente, manutenção da biodiversidade e bem-estar social, sendo esta, objeto de extrema atenção quando se diz respeito em avaliar práticas sustentáveis. A agricultura familiar no meio rural tem grande importância social e econômica, uma vez que ela é responsável em propiciar emprego e renda para a população local (Almeida, 2023) . Além disso, garante a segurança alimentar; sendo a responsável pelo abastecimento de alimentos no Brasil e no mundo, sendo quase 70% dos alimentos consumidos são oriundos desse modelo de agricultura (Serenini & Malysz 2015; Bertolini *et al.* 2020).

Neste aspecto, a análise da sustentabilidade surge como uma ferramenta essencial para compreender os impactos decorrentes das atividades no setor agrícola em seus aspectos econômicos, sociais e ambientais.

O trabalho pretende contribuir para o conhecimento das práticas sustentáveis adotadas pelo produtor na unidade familiar, identificando áreas de oportunidades e desafios a superar. Além disso, pretende-se fornecer subsídios para a formulação de políticas públicas e estratégias locais que promovam o desenvolvimento equilibrado e sustentável, alinhado aos princípios da responsabilidade social e da preservação ambiental. A análise proposta baseia-se no entendimento de que a sustentabilidade, quando efetivamente integrada na agricultura familiar, pode ser um catalisador para o crescimento sustentável e harmonioso, beneficiando não só as gerações presentes, mas também a geração futura. Objetivamos conhecer a sustentabilidade de uma unidade da agricultura familiar no município de Colíder – Mato Grosso.

2. MATERIAL E MÉTODOS

O presente trabalho propôs uma análise de sustentabilidade socioeconômica e ambiental em uma propriedade familiar, na comunidade Cristo Rei, no município de Colíder-MT. O desenvolvimento da pesquisa se deu através de dados primários e secundários, os dados primários se caracterizam com a parte prática do estudo, sendo realizado por meio de entrevista e questionário semiestruturado com o produtor rural e a observância a olho nu da propriedade durante as visitas. Os dados secundários, por sua vez, configuram-se na pesquisa detalhada para o desenvolvimento do referencial teórico, com pesquisas em artigos científicos, teses, dissertações, livros e outros materiais diversos.

Para a identificação dos pontos críticos na propriedade rural, pontos esses que fortalecem ou limitam o agroecossistema em ser sustentável, utilizou-se da metodologia *Marco de Evolución de Sistemas de Manejo de Sustentabilidad* – MESMIS (Astier; Masera; Miyoshi, 1999). A seleção do método MESMIS como ferramenta avaliativa, se destaca por meio da necessidade de uma abordagem holística que seja capaz de avaliar as dimensões econômicas, sociais e ambientais, promovendo maior compreensão da sustentabilidade familiar.

A configuração prática do MESMIS é constituída por ciclos de avaliações envolvendo seis etapas, sendo desenvolvida por meio de métodos participativos, onde cada fase é influenciada pela visão e contribuição dos participantes envolvidos (Nicoloso *et al.*, 2018), tendo como objetivo final a obtenção de informações, que será utilizada como subsídio para produtores rurais tomarem decisões assertivas em relação aos fatores que influenciam no grau de insustentabilidade dos agroecossistemas (Freitag, 2020).

No que se refere a cada etapa do MESMIS a seguir são apresentadas e descritas cada fase:

a) Fase 1 – Caracterização da área: esta etapa consiste na caracterização do agroecossistema em análise.

b) Fase 2 – Determinação dos pontos críticos do sistema: consiste na análise de aspectos que limitam ou fortalecem aquele agroecossistema, identificando pontos fracos e forte, apresentando respectivamente os pontos vulneráveis e robusto daquele agroecossistema.

c) Fase 3 – Seleção de indicadores estratégicos: nesta etapa consiste na identificação dos diferentes indicadores que permitirá fazer a avaliação do grau de sustentabilidade do agroecossistema.

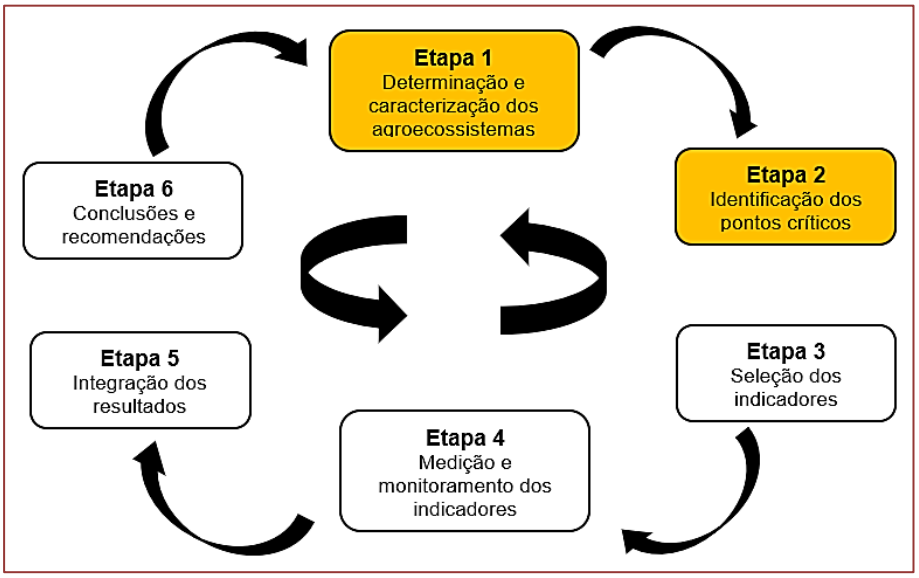
d) Fase 4 – Medição e monitoramento de indicadores: nesta etapa é apresentada a avaliação quantitativa ou qualitativa do grau de sustentabilidade de cada indicador nas dimensões sociais, econômicos e agroambientais.

e) Fase 5 – Apresentação e integração dos resultados: nesta etapa são apresentados todos os dados obtidos no agroecossistema analisado.

f) Fase 6 – Conclusão e recomendação: nesta etapa final se propõe oferecer conclusões definidas sobre a sustentabilidade, é nesta fase que são divulgados os resultados das análises, as considerações finais e as propostas para promover a sustentabilidade dos agroecossistemas (Astier; Masera; Miyoshi, 1999).

Para a execução do presente trabalho, foram seguidas as seguintes etapas do método, conforme ilustrado na figura 1.

Figura 1. Ciclo de avaliação do MESMIS



Fonte: adaptado de Astier; Masera; Miyoshi (1999).

Na primeira etapa para se fazer a caracterização do agroecossistema em estudo, foi feito levantamento das características edafoclimáticas do agroecossistema e diálogo com o produtor por meio de entrevista semiestruturada e caminhadas na propriedade com o produtor. Na segunda etapa, objetivou identificar os pontos positivos e negativos do agroecossistema familiar, pontos estes que limitam ou fortalecem a potencialidade do agroecossistema de ser sustentável, realizadas com a participação do produtor, visando o diagnóstico rural participativo.

Para a identificação e levantamento desses pontos críticos recorreu-se a coleta de dados via questionário baseado nas dimensões propostas no método MESMIS composto por perguntas abertas e fechadas, ou seja, dimensões sociais, econômica e agroambiental, aplicado aos familiares da propriedade rural Sitio São José. A partir das respostas dos entrevistados e observações visuais na propriedade, realizou-se uma análise minuciosa do questionário que serviu como base na identificação e seleção das potencialidades e limitações da unidade familiar.

A levantamento dessas informações ocorreu durante as visitas na propriedade (Figura 2), uma no mês de agosto e outra no mês de setembro de 2023, na qual todos os membros familiares participaram da aplicação do questionário, com destaque ao agricultor José Otavio Mantovani que esteve presente em todos os momentos da entrevista, fornecendo informações sobre as atividades e a forma que é realizado o manejo na propriedade.

Figura 2. Aplicação de questionário na propriedade

Fonte: os autores (2023).

A área analisada foi dirigida em uma unidade familiar, intitulada de "Sítio São José", localizada na comunidade rural Cristo Rei, no município de Colíder – Mato Grosso, a uma distância de 17 km da cidade. A agricultura familiar é o modelo de agricultura predominante da região de Colíder. O município está localizado na região norte do estado de Mato Grosso (MT) a uma distância de 630 km da capital Cuiabá, apresentando clima equatorial quente e úmido com três meses de seca de junho a agosto, e precipitação média anual de 2.500 mm, com maior intensidade nos meses de janeiro, fevereiro e março, e temperatura média anual de 24° C.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. DESCRIÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A propriedade em estudo possui área de 15 alqueires, com dois hectares de reserva permanente distribuído em três áreas, sendo adquira pelo Sr. José Mantovani (falecido) na década de 80 por meio de um projeto de desenvolvimento do governo federal para a região centro oeste, existente na época, sendo paga uma quantidade para aquisição do documento da terra. Na propriedade já se cultivou café, feijão, milho, arroz e algodão, na época em que se cultivou café a produtividade não foi conforme esperado, então passou a ser cultivado feijão, milho, arroz e algodão, e a partir dos anos 90 iniciou-se com a pecuária. Atualmente na propriedade são desenvolvidas as seguintes atividades:

a) Hortifruti: abacaxi (*Ananas comosus* L. Merril), banana (*Musa* spp.), laranja (*Citrus sinensis*), limão (*Citrus spp.*), melancia (*Citrullus lanatus*), melão (*Cucumis melo* L.), alface (*Lactuca sativa* L.), cebolinha (*Allium schoenoprasum* L.), couve (*Brassica oleracea*), rúcula (*Eruca sativa* L.) e abóbora (*Cucurbita* spp.);

b) Grandes culturas: feijão (*Phaseolus* spp.), mandioca (*Manihot esculenta* Crantz) e milho *(Zea mays*);

c) Criação animal: aproximadamente 60 galinhas caipiras, 86 gados de corte e 02 leiteiras.

Na propriedade moram cinco membros familiares, dentre os membros familiares apenas o senhor Edson Mantovani e seu filho José Otavio dos Santos Mantovani que desenvolvem todas as atividades relacionadas no manejo do solo, cultivo agrícola e domesticação dos animais, enquanto que os demais auxiliam na comercialização dos produtos.

3.2. SELEÇÃO DE PONTOS CRÍTICOS

Finalizado a parte prática de entrevista e observações visuais durante as visitas, foi realizado a seleção dos pontos críticos da unidade familiar, que estiveram baseados exclusivamente nas respostas dos produtores e observações visuais durante os percursos dentro da unidade familiar. Esses pontos são apresentados na tabela 1, separados em seus aspectos agroambientais, sociais e econômicos.

Tabela 1. Seleção dos pontos críticos na unidade familiar – Sítio São José, Colíder - MT

Dimensão agroambiental	Dimensão social	Dimensão econômica
Sistemas de cultivo	Acesso a saúde e educação	Comercialização dos produtos agropecuários
Visita de avifauna e repteis e mamíferos	Mão de obra	Transporte e embalagens dos produtos agropecuários
Análise de solo	Participação em associação	Agricultura de subsistência
Área de reserva legal e uso da mata	Assistência técnica rural	
Formas de controle de pragas e doenças	Crédito financeiro e políticas públicas	

Fonte: Autores (2023).

Com base na tabela, a seguir são apresentados cada ponto crítico identificado na unidade familiar, descrevendo sobre cada prática adotada pelo produtor e apresentando alternativas mitigadoras para aquelas práticas identificadas como menos sustentáveis ou inapropriadas.

3.3. DIMENSÃO AGROAMBIENTAL

3.3.1. SISTEMAS DE CULTIVO

O produtor faz a semeadura em áreas com solo protegido com palhada (Figura 3), sendo uma prática conservacionista do solo. Esta técnica consiste no não revolvimento ou revolvimento mínimo do solo; solo protegido com restos culturais e rotação de culturas. De acordo com Malchione (2023), essa prática apresenta diversas vantagens como melhorias na estrutura do solo, redução de erosão de solo, maior infiltração de água e a conservação da umidade do solo, devido a presença de palhada que irá propiciar a proteção do solo contra raios solares, intensas chuvas e ações do vento.

Figura 3. Cultivo de melancia sob restos culturais de Brachiaria ruziziensis no Sítio São José, Colíder – MT

Fonte: os autores (2023).

Outra prática que promove a sustentabilidade agrícola é a rotação de culturas, realizada na propriedade desde 2020, sendo rotacionadas as seguintes culturas: abacaxi (*Ananas comosus* L. Merril), banana (*Musa* spp.), melancia (*Citrullus lanatus*), melão (*Cucumis melo* L.), feijão (*Phaseolus vulgaris* L.), mandioca (*Manihot esculenta* Crantz.) e milho *(Zea mays* L.) que estão distribuídas em sete áreas. Além das culturas citadas, na propriedade também faz a implantação de adubação verde nesse sistema de rotação, sendo esta uma ferramenta extremamente importante para se obter a sustentabilidade produtiva.

No que se refere a compreensão de rotação de culturas, esta, consiste na alternância de diferentes culturas implantadas em uma mesma área num determinado espaço de tempo, em que a espécie vegetal cultivada não é repetida na mesma área durante um intervalo de tempo inferior a um ano (Barbieri *et al.* 2019), apresentando diversos benefícios. Silva et al. (2022), citam que as principais vantagens pela adoção de rotação de culturas nos agroecossistemas são: melhorias nas propriedades físicas, químicos e biológicas do solo; controle de ervas daninhas, pragas e doenças; devolução da matéria orgânica ao solo, proteção do solo contra a ação dos ventos, chuvas e radiação solar, além de manter a umidade do solo e otimizar uso de fertilizantes e nutrientes.

No que se refere a adubação verde, esta é mais uma prática conservacionista adquirida na propriedade, as plantas de cobertura, também denominadas de adubação verde, são cultivadas na propriedade com a finalidade de melhorar as propriedades químicas, físicas e biológicas do solo. Ao empregar as culturas de cobertura, estabelece camadas estratificadas de resíduos vegetais sobre o solo, o que é crucial para aumentar a disponibilidade de biomassa verde, aprimorar a retenção de nutrientes, manter a temperatura do solo, reduzir os processos de erosão e, por conseguinte, preparar o solo para o cultivo de culturas de interesse.

Os adubos verdes são plantas cultivadas em rotação ou consorciação com as culturas de interesse, podendo ser incorporados no solo ou roçadas e mantidas na superfície do mesmo (Espíndola *et al.* 1997), proporcionando melhorias nas propriedades físicas com o aumento da capacidade de retenção de água e da porosidade do solo. Além disso, de

acordo com Oliva *et al.* (2023) promove melhores propriedades químicas e biológicas, favorecendo a relação solo-planta-atmosfera.

As espécies de cobertura verde cultivadas na propriedade são: crotalária e feijão guandu da família Fabaceae, e as gramíneas do gênero *Brachiaria*. da família Poaceae. As gramíneas cultivadas na propriedade são exclusivamente para proteger o solo, sendo esta prática instalada há aproximadamente seis anos, antes mesmo de o produtor aderir o sistema de plantio direto. Diversas pesquisas têm mostrado a eficiência de gramíneas em sistemas conservacionistas, uma vez que as gramíneas têm alta relação de C:N resultando na decomposição de palha de maneira mais lenta (Salomão *et al.,* 2020), o que vai favorecer a proteção do solo por maior período de tempo.

Por outro, a crotalária e feijão guandu são manejados nas propriedades com o intuito de melhorar a fertilidade do solo, uma vez que as leguminosas têm alta capacidade de fixação de nitrogênio no solo, reduzindo a utilização de insumos químicos e consequentemente menor custeio na produção.

3.3.2. VISITA DE AVIFAUNA, REPTEIS E MAMÍFEROS

Na propriedade a presença de aves, répteis e mamíferos é notória, principalmente quando se refere as visitas de mamíferos e répteis, as aves segundo o produtor José Otavio não são vistas com frequência pelos produtores, porém durante as visitas, foram vistas um casal de arara e uma garça. As aves desempenham papel fundamental para a manutenção do agroecossistema, atuando na polinização das plantas, regulação de população de insetos, dispersão de sementes, entre outros (Freitas *et al.* 2019). Além disso, elas são grandes indicadoras de qualidade ambiental no agroecossistema, onde a presença de grande diversidade de aves aponta para um ambiente com qualidade ambiental maior (Evangelista *et al.* 2021).

De igual modo, os mamíferos e repteis também são bioindicadores de sustentabilidade ambiental indicando a biodiversidade local, e na propriedade há visitas com frequência de: anta, cachorro do mato, cobras, gata do mato, macaco, porco espinho e porco do mato.

3.3.3. ANÁLISE DE SOLO

O produtor faz análise química do solo por meio de empresas privadas (Araguaia e Agro Terra) e pela EMPAER, sendo a última análise realizada em 2021 pela EMPAER. A análise de solo é um instrumento importante para se conhecer a composição química, física e biológica do solo, desempenhando papel fundamental na promoção da sustentabilidade agrícola.

3.3.4. ÁREA DE RESERVA LEGAL E USO DA MATA

Na propriedade há dois hectares de área de reserva legal (ARL), distribuída em três áreas sendo implantada em 2013 por intermédio do projeto olho d'água. De acordo com a lei nº 12.651/2012 (Brasil, 2012) a instalação de áreas de reserva legal (RL) tem como intuito garantir a biodiversidade do local e controlar o desmatamento. Na propriedade a escolha da área para se fazer a implantação da RL foi realizada pelo produtor Edson Mantovani e alguns professores que executavam o projeto, neste sentido Miecoanski e Palavecini (2020) descrevem que a escolha da localização da área de reserva legal é realizada pelo

proprietário, porém, sua aprovação depende do órgão ambiental estadual, sendo aprovada, é registrada no CAR (Cadastro Ambiental Rural) não podendo mais ser mudada.

As principais árvores constituintes na área de reserva são as espécies de Ipê, Itauba, Goiabeira, Mangueira, Cedro rosa, Castanha do Pará e Buriti. Dentro dessa área há um projeto de apicultura em andamento para a subsistência da família, onde a família recebeu três caixas de colmeia (Figura 4) do governo através da Secretaria de Estado Agricultura Familiar (SEAF).

Figura 4. Caixas de colmeia para apicultura na área de reserva legal no Sítio São José, Colíder – MT

Fonte: os autores (2023).

Porém na propriedade este é um projeto que está em andamento, apenas para a subsistência da família, sem fins comerciais.

3.3.5. FORMAS DE CONTROLE DE PRAGAS E DOENÇAS

Na propriedade o método utilizado no controle de pragas é por meio de defensivos agrícolas químicos para controle de mosca branca e tripes. Ao final também foi comentado com o produtor a respeito do método de controle biológico e a importância dos inimigos naturais, uso de extratos botânicos como o extrato de Nim (*Azadirachta indica*) e hortelã-pimenta (*Mentha piperita*), uma vez que na propriedade se tem disponível essas espécies.

3.3.6. ÁREA DEGRADADA

Na propriedade há uma pequena área em processo de degradação de pastagem e solo (Figura 5), corresponde a uma parcela da pastagem que não foi feita a reforma. A degradação da pastagem conforme citado por Moacyr & Dias-filho (2017) consiste em um processo de declínio da produtividade que vai avançando no decorrer dos tempos,

existindo dois tipos de degradação de pastagem; a degradação agrícola refletida através da infestação de plantas daninhas que compete com o capim e a degradação biológica em que a queda de produtividade está relacionada com a deterioração do solo, resultando em solo descoberto.

Figura 5. Pastagem e solo degradados na propriedade Sítio São José, Colíder – MT

Fonte: os autores (2023).

Diversos fatores influenciam no processo de degradação de pastagem, como o manejo inadequado, baixa fertilidade do solo ocasionando a diminuição das reservas orgânicas e dificuldade de rebrota das plantas. Para a recuperação dessa área o produtor precisa em primeiro lugar, fazer a análise química do solo a fim de identificar as limitações química do mesmo, que servirá como instrumento na tomada de decisões. Mediante a interpretação da análise, o produtor deverá fazer a correção do solo com aplicação de calcário para correção da acidez do solo e fazer aplicação de adubação.

Além disso, uma alternativa que o produtor pode aderir para a recuperação dessas áreas degradada é a utilização de espécies de leguminosas em consorciação com a gramínea, sendo está uma alternativa sustentável. As leguminosas apresentam alto potencial na recuperação de áreas degradadas, propiciando maior cobertura e proteção do solo, melhorando desta forma a estrutura e fertilidade do solo. Essas espécies têm a capacidade de fixação biológica de nitrogênio (FBN) através da associação simbiótica com bactérias fixadoras de nitrogênio, resultando em quantidades expressivas de nitrogênio no sistema

solo-planta, diminuindo consequentemente a utilização de adubos nitrogenados sintéticos e os custos de produção (Rodrigues *et al.* 2021).

O feijão guandu é uma espécie de leguminosa que o produtor pode implantar na recuperação da pastagem degradada, sendo este de baixo custo e apresentando resultados significativos na recuperação das pastagens, podendo ser visualizados sinais de recuperação logo após os 30 dias de implantação (Oliveira, Matta & Godoy 2017).

3.4. DIMENSÃO SOCIAL

3.4.1. MÃO DE OBRA

Todos os trabalhos desenvolvidos na propriedade são realizados exclusivamente pela família, sendo está uma das características da agricultura familiar conforme estabelecido na Lei nº 11.326, de 24 de julho de 2006. No que se refere as atividades efetuadas no campo, como cultivo das fruteiras e hortaliças, o Sr. Edson Mantovani e seu filho José Otavio que as desenvolvem, sem a necessidade de contratação de mão de obra, o que é um ponto positivo para a rentabilidade da família. Os demais membros da família auxiliam na parte de comercialização dos produtos.

O manejo no campo é realizado em sua maioria de forma manual, como semeadura, plantio, colheita, ordenha das leiteiras, exceto no preparo do solo, que precisem utilizar máquinas agrícolas, este é terceirizado, e no que diz respeito a irrigação esta é feito pelo sistema de irrigação por gotejamento implantado na propriedade.

3.4.2. PARTICIPAÇÃO EM ASSOCIAÇÃO

Na propriedade as mulheres participam de uma associação denominada Associação de Mulheres do Campo Nova Galiléia, o associativismo é um tipo de organização que tem como intuito alcançar objetivos comuns entre seus associados, através de ações comunitárias. A associação é um modelo de processo organizacional, constituída por grupos de duas ou mais pessoas que se unem com o propósito de defender objetivos comuns da coletividade sem fins lucrativos e dotado de personalidade jurídica (Ferreira & Zaluski, 2022).

Neste sentido, os membros da Associação de Mulheres do Campo Nova Galiléia se reúnem uma vez ao mês na escola de Nova Galiléia para produção de tempero (sal temperado) (Figura 6), utilizando-se de matéria prima o sal fornecido pela associação através de uma parceria com o SICRED e ervas produzidas nas propriedades (alecrim, manjericão, pimenta doce, etc.), ocorrendo desta forma a socialização, troca de saberes e fortalecimento do grupo. Esses temperos são distribuídos entre as associadas e as mesmas comercializam ajudando na rentabilidade de cada uma.

Figura 6. Sal temperado preparado pelos membros da Associação de Mulheres do Campo Nova Galiléia

Fonte: José Otavio Mantovani (2023).

As dificuldades encontradas dentro da Associação das Mulheres do Campo Nova Galileia estão relacionadas com a quantidades de associadas envolvidas, possuindo poucas integrantes no grupo, sendo importante alterar esse cenário para o fortalecimento do grupo.

Diante do contexto citado acima, o grupo de associadas precisam buscar por estratégias que despertem o interesse de outras mulheres a participarem da associação, tais como: divulgação dos trabalhos realizados pelas associadas em mídias sociais dando visibilidade ao grupo e consequentemente despertando o interesse em outras a participarem; inserção de minis cursos e palestras durante os encontros com temas de interesse da comunidade e a busca pelo apoio da secretaria de agricultura e meio ambiente do Município, com criação de programas locais que beneficiam as associadas.

3.4.3. ASSISTÊNCIA TÉCNICA RURAL

No que se refere a assistência técnica e extensão rural, na propriedade a instituição quem faz essa assistência é a EMPAER, tem como objetivo produzir conhecimento e transferi-los para os produtores no campo, por meio de visitações nas propriedade, acompanhamentos em suas atividades, ministrações de cursos e palestras, orientando desta forma os produtores sobre a semeadura e plantio, colheita, atividades de pecuária, psiculturas ou outras atividades desenvolvida pela agricultura familiar em Mato Grosso, contribuindo no aumento de produtividade do produtor e consequentemente melhorar na rentabilidade do mesmo.

Essa assistência embora tenha contribuído para o aprimoramento de diversos agricultores da região, apresenta algumas deficiências relatada pelos produtores como ausência de profissionais para atender a demanda e a falta de infraestrutura da EMPAER para fazer essa assistência.

Neste sentido, a assistência na propriedade acaba sendo insuficiente, sendo necessário a inserção de mais profissionais no meio rural para estar auxiliando os produtores em suas atividades agropecuárias. Para isso, o produtor pode buscar por alternativas, como: parceria em empresas privadas para obtenção de consultoria técnica, apesar desta opção fomentar em custos para o produtor, esta é capaz de disponibilizar soluções de problemas enfrentado pelo produtor; parceria em universidades que promovem cursos na área agrícola buscando por informações, em que os acadêmicos possam estar atuando nessa área em forma de estágio e auxiliando nas dificuldades encontradas pelo produtor. Além disso, o produtor ainda pode estabelecer vínculo com os demais produtores da região compartilhando conhecimento entre os agricultores, participar de eventos e cursos voltados a área agrícola que propiciar ao produtor maior conhecimento.

3.4.4. CRÉDITO FINANCEIRO E POLÍTICAS PÚBLICAS

A família nunca solicitou o crédito financeiro às instituições devidas a essas burocracias envolvidas na liberação e aprovação do crédito. Diante do exposto acima, para facilitar a liberação do crédito financeiro a família em primeiro momento precisa estar com documentação regularizada e livre de dívidas, estando com os documentos regularizado é importante que o produtor elabore um projeto desenhando o que será feito com o recurso solicitado apresentando desta forma os benefícios econômicos e sociais do investimento as instituições financeiras.

Uma alternativa que facilitará o acesso ao crédito rural é o produto oferecer garantias substanciais na solicitação do crédito, como o imóvel, equipamentos agrícolas, etc. Além disso o produtor deve optar por instituições financeiras do ramo agrícola, sendo que a maioria dessas compreendem melhor a necessidade dos produtores rurais.

No que se refere as políticas públicas, a família participa do Programa Nacional de Alimentação Escolar (PNAE), este programa desempenha papel importante dentro do contexto da agricultura familiar desde 2009, uma vez que incentiva a aquisição de produtos alimentícios escolares oriundos da agricultura familiar local, fortalecendo e valorizando os produtores rurais do local (Resolução/CD/FNDE n.38, 2009) (Brasil, 2009).

3.5. DIMENSÃO ECONÔMICA

3.5.1. COMERCIALIZAÇÃO DOS PRODUTOS AGROPECUÁRIOS

Os produtos oriundos das atividades agropecuárias na propriedade são comercializados e utilizados para a subsistência da família, contribuindo de forma significativa para a rentabilidade da família, sendo que a renda da família é resultado da venda desses produtos mais a aposentadoria de duas pessoas.

A comercialização desses produtos acontece de duas maneiras; na propriedade de forma direta e nas escolas municipais por meio de licitação, através do programa PNAE. Em relação a comercialização na propriedade, os produtos são dispostos em uma bancada improvisada embaixo de uma mangueira, e os clientes vão até ao local realizar a compra, acontecendo desta forma a venda direta (Figura 7).

Figura 7. Bancada de comercialização dos produtos agropecuários na propriedade Sítio São José, Colíder – MT

Fonte: José Otavio (2023).

No que se refere a embalagens e rótulos dos produtos comercializados na propriedade, uma vez que os alimentos comercializados são *in natura* não há necessidade embalagens personalizadas, são utilizadas sacolas quando necessário para acondicionar os produtos (Ex. Couve e amendoim).

No que diz respeito a venda indireta, esta acontece por meio do Programa Nacional de Alimentação Escolar, em que o produtor fornece diversos alimentos as escolas municipais de Colíder-MT através de contrato com a Secretaria de Educação Municipal. Todos os produtos comercializados na unidade familiar estão apresentados na tabela abaixo (Tabela 2).

Tabela 2. Produtos comercializados e seus preços de venda na unidade familiar Sítio São José, Colíder – MT, em 2023

Produto comercializado	Preço venda direta	Preço venda indireta
Abacaxi	R$ 7,00 (unidade)	R$ 11,00 (unidade)
Abóbora verde	----------	R$ 8,00 (kg)
Abóbora madura	----------	R$ 8,65 (kg)
Amendoim	R$ 10,00 (kg)	----------
Banana	R$ 3,00 (Penca) R$ 15, 00 (Cacho médio) R$ 20,00 (Cacho grande)	R$ 3,00 (kg)
Couve	R$ 8,00 (Masso de 500 g)	R$ 11,00 (Masso de 500 g)
Laranja	----------	R$ 8,20 (kg)
Limão	----------	R$ 7,20 (kg)
Mandioca	R$ 3,00 (kg com casca) R$ 4,00 (kg sem casca)	R$ 7,62 (kg com casca)
Melancia	R$ 5,00 (Unidade) R$ 10,00 (Unidade) R$ 15,00 (Unidade) R$20,00 (Unidade) R$25,00 (Unidade)	R$ 6,67 (kg)
Melão	R$ 10,00 (Kit 3 unidades)	11,00 (kg)
Gado de corte	R$ 1.500,00 (Bezerro 10 meses)	

Fonte: os autores (2023).

3.5.2. TRANSPORTE DOS PRODUTOS AGROPECUÁRIOS

No aspecto que se refere ao transporte dos produtos comercializado (Figura 8) nas escolas, este é terceirizado para um morador da comunidade circunvizinha, que recebe uma remuneração mensal pelo serviço prestado. Esse morador faz o transporte dos produtos até as escolas, por meio de uma F. 1000 nas segundas feiras.

Figura 8. Transporte dos produtos comercializados, Colíder – MT

Fonte: José Otavio (2023).

3.6. AGRICULTURA DE SUBSISTÊNCIA

Na propriedade também é praticada a agricultura e criação de animais apenas para a subsistência da família, sem fins comerciais (Tabela 3). Dentro da agricultura, são cultivadas as seguintes culturas somente para o uso da família: alface (*Lactuca sativa* L.), cebolinha (*Allium schoenoprasum* L.) e milho *(Zea mays* L.). No que se refere a domesticação dos animais para o consumo dos familiares são criadas galinhas caipiras, vacas leiteiras e porco caipira.

Tabela 3. Produtos cultivados ou criados no Sítio São José para subsistência da família no Sítio São José, Colíder – MT

Espécies	Finalidade
Alface	consumo
Cebolinha	consumo
Feijão	consumo
Milho	consumo/animais
Animais criados para consumo da família	**Quantidade**
Bovino leiteiro	02
Galinhas caipiras	60
Porco caipira	01

Fonte: os autores (2023).

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A agricultura familiar desempenha papel fundamental na construção do desenvolvimento sustentável, e a análise da sustentabilidade socioeconômica e ambiental na unidade familiar analisada por meio da metodologia MESMIS, permitiu identificar os pontos fortes dos sistemas e os pontos fracos que precisam ser trabalhados a fim de se alcançar a sustentabilidade.

De modo geral, a propriedade apresenta a maioria dos indicadores de sustentabilidade com níveis ótimos, mas possui poucos pontos fracos que precisam ser superados, sendo eles: presença de áreas degradada na pastagem assistência técnica deficitária e não acesso ao crédito rural. Para alterar este cenário foram apresentados para cada ponto alternativas mitigadores que promovem a sustentabilidade do agroecossistema.

REFERÊNCIAS

[1] ALMEIDA, H. P. N. **Agricultura familiar e sustentabilidade ambiental na comunidade rural de novo remanso (amazonas, brasil).** 2023. 100p. Tese de Mestrado. Universidade Federal do Amazonas – UFAM. Itacoatira, 2023.

[2] ASTIER, M.; MASERA, O. R.; GALVÁN-MYOSHI, Y. **Sustentabilidade e gestão de recursos naturais:** o quadro MESMIS. 1999. Mundiprensa, México.

[3] BARBIERI, M. et al. Ensaio sobre a bioatividade do solo sob plantio direto em sucessão e rotação de culturas de inverno e verão. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 42, n. 1, p. 122-134, 2019.

[4] BARBOSA, A. M.; SANTOS, A. F. L. DOS; REINALDO, L. R. L. R. Sustentabilidade de agroecossistemas da agricultura familiar no distrito de Lagoa de Jucá, Alcantil - PB. **Revista GeoUECE**, v. 11, n. 20, p. e202204–e202204, 15 mar. 2022.

[5] BERTOLINI, M. M; FILHO, P, L. P; MENDONÇA, S. N. T. G. A importância da agricultura familiar na atualidade. **Ciência, Tecnologia e Inovação: do campo a mesa – CIAGRO,** 2020.

[6] BRASIL. **Resolução CD/FNDE nº 38 de 16 de julho de 2009**. *Dispõe sobre o atendimento da alimentação escolar aos alunos da educação básica no Programa Nacional de Alimentação Escolar – PNAE. Disponível em:* Resolução CD/FNDE nº 38 de 16/07/2009 - Federal - LegisWeb

[7] ESPÍNDOLA, J. A. A. et al. Adubação verde: estratégia para uma agricultura sustentável. 1997.

[8] EVANGELISTA et. al. Aves do Rio Jundiaí-Mirim: uma análise comparativa entre estudo. In: 18º Congresso Nacional de Meio Ambiente, 01, 2021, Poços de Caldas, **Anais**, 2021. v. 13, p. 1-9.

[9] FERREIRA, G. M. V.; ZALUSKI, F. C. **Cooperativismo e associativismo**. 2022. Disponível em: <https://www.ufsm.br/app/uploads/sites/570/2022/03/07.-COOPERATIVISMO-E-ASSOCIATIVISMO.pdf>.

[10] FREITAG, C. **Avaliação da sustentabilidade em agroecossistemas de produção familiar com a aplicação do método MESMIS.** 2020. 163p. Dissertação de Mestrado, Universidade Estadual do Oeste do Paraná – UNIOSTE, Marechal Cândido Rondon, 2020.

[11] FREITAS, T. C. DE et al. Aves visitantes florais de *Acca sellowiana* (Berg) Burret (goiabeira-serrana) em um sistema agroflorestal no sul do Rio Grande do Sul, Brasil. **Cadernos de Agroecologia**, v. 15, n. 2, p. 14, 2020.

[12] MALCHIONE, E. C. **Sistema plantio direto**: vale a pena fazer preparo de solo como opção de "reforma". 2023. 62p. Tese de Doutorado. Universidade Estadual Paulista – UNESP, Jaboticabal, 2023.

[13] MIECOANSKI, F. R.; PALAVECINI, A. C. Área de reserva legal: a percepção dos pequenos proprietários rurais de Francisco Beltrão. **Revista Científica Agropampa**, v. 1, n. 1, p. 100–113, 2020.

[14] MOACYR, B.; DIAS-FILHO. **Degradação de pastagens**. 2017. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1070416/1/TC1117CartilhaPastagemV04.pdf>.

[15] NICOLOSO, C. V. et al. Aplicação do Método MESMIS para Análise da Sustentabilidade de Sistemas de Produção da Pecuária Familiar em Área do Bioma Pampa no Rio Grande do Sul. **Desenvolvimento em Questão**, v. 16, n. 45, p. 354-376, 2018.

[16] OLIVA, F. A. et al. A utilização da adubação verde como alternativa econômica na recuperação de solos. **Revista Alomorfia**, v. 7, n. 2, p. 685-693, 2023.

[17] OLIVEIRA, P. P. A.; MATTA, F. DE P.; GODOY, R. Consorciação com guandu na recuperação de pastagens degradadas, uma tecnologia de duplo propósito: adubação verde e pastejo consorciado diferido. **www.infoteca.cnptia.embrapa.br**, 2017.

[18] RODRIGUES, P. H. M. et al. Uso de leguminosas na dieta de ruminantes: adaptação às mudanças climáticas e mitigação da emissão de gases de efeito estufa. **Novos desafios da pesquisa em nutrição e produção animal**, 2021.

[19] SALOMÃO, P. E. A. et al. A importância do sistema de plantio direto na palha para reestruturação do solo e restauração da matéria orgânica. **Research, Society and Development**, v. 9, n. 1, e154911870, 2020.

[20] SERENINI, M. J. MALYSZ, S. T. A importância da agricultura familiar na produção de alimentos. **Curitiba: Cadernos PDE**, 2015.

[21] SILVA, M. A. et al. Sistema de plantio direto e rotação de culturas no Cerrado. **Research, Society and Development**, v. 11, n. 13, e376111335568, 2022.

Autores

AUTORES

CICERO BESERRA DE MENEZES

Possui graduação em Agronomia pela Universidade Federal de Lavras (1997), mestrado em Genética e Melhoramento de Plantas pela Universidade Federal de Lavras (1999) e doutorado em Agronomia (Fitotecnia) pela Universidade Federal de Lavras (2003), com passagem sanduíche de um ano (fev/2002 a jan/2023) pela Brigham Young University, Provo-UT, EUA. Foi coordenador de melhoramento de hortaliças de 2004 a 2010 na Sakata Seed Sudamérica, sendo coordenador dos programas de melhoramento de cebola, cenoura e melão. Desde 2011 é pesquisador da EMBRAPA MILHO E SORGO, sendo líder do projeto de melhoramento de sorgo da unidade. É presidente da Associação Brasileira de Milho e Sorgo, desde 2019, entidade promotora do Congresso Brasileira de Milho e Sorgo, e do Seminário Nacional de Milho Safrinha, além de editora da Revista Brasileira de Milho e Sorgo. Tem experiência na área de Agronomia, com ênfase em Melhoramento Vegetal, atuando principalmente nos seguintes temas: Sorgo granífero, tolerância a seca em sorgo, resistência a doenças, resistência a pulgão da cana de açúcar em sorgo, desenvolvimento de linhagens, eficiência no uso de nutrientes. Atualmente está como Cientista Visitante no Donald Danforth Planta Science Center, em Saint Louis, MO, USA.

CLEBERTON CORREIA SANTOS

Graduado em Agroecologia pela Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul (UEMS). Mestre e Doutor em Agronomia - Produção Vegetal pela Universidade Federal da Grande Dourados (UFGD). Atualmente é Pós-Doutorando (PNPD/CAPES) pelo Programa de Pós-Graduação em Agronomia da UFGD. Atuou na modalidade de Professor Visitante pelo PPGAGRO/UFGD (2022-2024). Durante os anos 2017-2022 atuou como professor colaborador na graduação em Agronomia da UFGD. É integrante do Grupo de Estudos em Ecofisiologia de Plantas (GEEP), e dos de pesquisa do CNPq: i) Olericultura e Plantas Medicinais e ii) Cultivo e Propagação de Plantas do Cerrado. Tem experiência nos seguintes temas: Agroecologia, Indicadores de Sustentabilidade e Recursos Naturais, Uso de Resíduos Sólidos Orgânicos, Formulação de Substratos, Produção de Mudas, Propagação de Plantas, Plantas nativas no Cerrado e medicinais, Espécies Frutíferas, Bioindicadores de Quailidade do Solo, Sistemas Agroflorestais, Ecofisiologia da Germinação de Sementes, Bioinsumos, Bactérias Promotoras do Crescimento de Plantas, Fisiologia do Estresse, Nutrição e Metabolismo de Plantas de Interesse Agronômico e Florestal, Planejamento e Análises Experimentais Agrícolas. Tem orientado e participado de projetos de pesquisas com foco em atender os objetivos do desenvolvimento sustentável (ODS).

CRISTIANE GONÇALVES DE MENDONÇA

Professora no curso de Agronomia da Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul

CRISTIANO MOREIRA

Doutor em Agronomia pela Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul, Professor do Curso de Agronomia do Campus de Cassilândia, Cassilândia, MS, Brasil.

FELIPE ANDRÉ SGANZERLA GRAICHEN

Doutor em Fitotecnia pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Professor Permanente do Programa de Pós-Graduação em Agronomia da Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul.

IASMIN MARRONY DAMASCENO REIS

Graduanda em Engenharia Agronômica na Universidade Federal de São João del-Rei - UFSJ, no campus Sete Lagoas. Atualmente bolsista do Programa de Educação Tutorial (PET Agronomia) - UFSJ/CSL

AUTORES

ISADORA CRISTINA MARTINS OLIVEIRA

Possui graduação em Agronomia pela Universidade Federal de Viçosa (2013), mestrado em Genética e Melhoramento pela Universidade Federal de Viçosa (2015) e doutorado em Genética e Melhoramento pela Universidade Federal de Viçosa (2019). Atualmente é auxiliar de pesquisa da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Tem experiência na área de Agronomia, com ênfase em Melhoramento Vegetal, atuando principalmente nos seguintes temas: Sorghum bicolor (L.) Moench, melhoramento genético, bioenergia e seleção genômica

NEDER HENRIQUE MARTINEZ BLANCO

Professor no curso de Agronomia da Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul

ROSELINE DA SILVA COÊLHO

Mestra em Produção Vegetal pela Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul, aluna de doutorado do Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul, Campus de Aquidauana, Aquidauana, MS, Brasil.

VALERIA APARECIDA VIEIRA QUEIROZ

Possui graduação em Nutrição pela Universidade Federal de Viçosa (1986), mestrado (2004) e doutorado (2006) em Produção Vegetal pela Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro e pós-doutorado na Texas AM University, College Station, TX, US. Atualmente é pesquisadora da Embrapa Milho e Sorgo, atuando na área de Segurança Alimentar, Nutrição e Saúde, sub área Propriedades Funcionais dos Alimentos. Suas principais linhas de pesquisa são relacionadas à qualidade nutricional e sanitária na pós-colheita de grãos de milho e de sorgo, com ênfase em estudos para mitigação da contaminação desses grãos com micotoxinas, além de desenvolvimento e avaliação da qualidade nutricional, funcional e tecnológica de novos produtos sem glúten à base de sorgo para uso na alimentação humana.

www.poisson.com.br
contato@poisson.com.br

@editorapoisson

https://www.facebook.com/editorapoisson